普通高等教育“十二五”规划教材

画法几何及机械制图

第2版

范思冲　主　编
周建平　张建润　副主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

普通高等教育“十二五”规划教材

画法几何及机械制图

（机械类、近机械类专业适用）

第 2 版

主　编　范思冲

副主编　周建平　张建润

参　编　陈炳发　丛肇助　姚　陈　钱志峰

主　审　杨钟藩

机 械 工 业 出 版 社

本教材内容包括画法几何、机械制图和计算机绘图基础三个部分，具体分为：制图的基本知识和基本技能，投影的基本知识，点、直线、平面的投影，直线、平面的相对位置，投影变换，立体的投影，轴测投影图，机件常用的表达方法，标准件和常用件，零件图，装配图和计算机绘图基础共十二章以及附录；还有配套的习题集同时修订出版；并制作有 PPT 课件，可在机械工业出版社的教育服务网（www.cmpedu.com）上下载，供教师备课和授课时使用，以辅助教学。

本教材既适合于大学本科机械类和近机械类专业使用，也可供其他各种类型的高等院校本（专）科同类专业使用，还可供工厂、科研、设计等部门的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

画法几何及机械制图/范思冲主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2014.4（2018.9重印）
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-45820-3

Ⅰ.①画… Ⅱ.①范… Ⅲ.①画法几何-高等学校-教材②机械制图-高等学校-教材 Ⅳ.①TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 026144 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：余 皞 责任编辑：余 皞 张丹丹 版式设计：霍永明
责任校对：纪 敬 封面设计：张 静 责任印制：常天培
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2018 年9 月第 2 版第3 次印刷
210mm×285mm · 18.75 印张 · 571 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-45820-3
定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

本教材自1997年5月出版以来，为许多兄弟院校所选用，并得到了广大师生的肯定和好评，先后印刷了13次，印数近5万套。鉴于出版以来已时隔十多年，在教学改革不断推进、国家标准不断更新的新形势下，教材第1版显得有所落伍了。为了紧跟形势、与时俱进，特组织了多位具有丰富教学实践经验的老教师，实时进行了修订，出版了此第2版。

本教材除保持了第1版教材的主要特色和显著优点外，又作了许多改进，从而有了新的长足的进步和提高。①删除了原“第六章曲线与曲面”，以适应教学学时减少的实际情况，也使教材更具“少而精”的特色；②原“第十三章计算机绘图基础”采用了新的中文版AutoCAD 2008，作了全面重新编写，既体现了先进性，又符合多数兄弟院校目前使用版本的实际情况；③为了与国际接轨，本教材全面采用了最新国家标准；④配套习题集与本教材同时修订出版，同一章教材和相应的习题由同一人编写，以取得教材和习题集密切配合、相辅相成、相得益彰的效果；⑤本教材同时制作有PPT课件，可以从机械工业出版社的教育服务网下载，便于辅助教学。

本教材第1版由范思冲、丛肇助、周建平、姚陈、钱志峰、张建润编写，由杨钟藩主审。参加此次修订的有周建平（第五、十二章）、张建润（第十、十一章）、陈炳发（第二、三、四章）、范思冲（其余各章以及绪论、附录等）。并由范思冲任主编，周建平、张建润任副主编。陈晓阳友情参加了本教材部分课件的制作工作，在此表示衷心的感谢。

本教材的成功出版可以说是众人智慧的结晶，集体劳动的成果，在此谨向为本书的出版付出过心血和劳动，作出过努力和贡献的所有工作人员表示最诚挚的感谢！

热忱欢迎各兄弟院校选用本教材，真诚希望在使用过程中，对本教材的错误和不妥之处提出宝贵意见，以便不断改进和提高，以不辜负广大读者的期望和厚爱。

编　者

目　　录

前言
绪论 …… 1
第一章　制图的基本知识和基本技能 …… 3
第一节　制图的基本规定 …… 3
第二节　制图工具和仪器的使用方法 …… 11
第三节　几何作图 …… 14
第四节　平面图形的分析、画法和尺寸注法 …… 20
第五节　草图画法 …… 22
第二章　投影的基本知识 …… 25
第一节　投影法及其分类 …… 25
第二节　正投影的特性及三视图 …… 25
第三章　点、直线、平面的投影 …… 31
第一节　点的投影 …… 31
第二节　直线的投影 …… 34
第三节　平面的投影 …… 47
第四章　直线、平面的相对位置 …… 59
第一节　空间几何元素间的相对位置关系 …… 59
第二节　直线、平面的平行关系 …… 59
第三节　直线、平面的相交关系 …… 62
第四节　直线、平面的垂直关系 …… 65
第五节　点、线、面综合题的解法 …… 68
第五章　投影变换 …… 76
第一节　概述 …… 76
第二节　换面法 …… 76
第三节　旋转法 …… 83
第六章　立体的投影 …… 89
第一节　基本体的三视图和尺寸 …… 89
第二节　带切口立体的三视图 …… 90
第三节　立体表面上点的投影 …… 92
第四节　立体表面交线 …… 95
第五节　画组合体的三视图和标注尺寸 …… 104
第六节　读组合体的视图 …… 109
第七章　轴测投影图 …… 116
第一节　轴测图的基本概念 …… 116
第二节　正等轴测图 …… 117
第三节　斜二轴测图 …… 123
第四节　轴测剖视图 …… 124
第八章　机件常用的表达方法 …… 126
第一节　视图 …… 126
第二节　剖视图 …… 128
第三节　断面图 …… 135
第四节　图样简化画法和局部放大图 …… 138
第五节　机件表达方法小结和综合应用举例 …… 141
第六节　第三角画法简介 …… 142
第九章　标准件和常用件 …… 145
第一节　螺纹 …… 145
第二节　螺纹紧固件 …… 152
第三节　螺纹紧固件的连接形式及其画法 …… 153
第四节　键连接 …… 157
第五节　销连接 …… 158
第六节　弹簧 …… 159
第七节　齿轮 …… 162
第八节　滚动轴承 …… 165
第十章　零件图 …… 168
第一节　概述 …… 168
第二节　零件结构的工艺性简介 …… 169
第三节　零件图的视图选择 …… 172
第四节　零件图的尺寸标注 …… 176
第五节　零件图的技术要求 …… 181
第六节　零件图的读法 …… 193
第七节　四类典型零件分析 …… 195
第十一章　装配图 …… 198
第一节　概述 …… 198
第二节　装配图的表达方法 …… 200
第三节　装配图的视图选择 …… 202
第四节　装配图的尺寸标注 …… 204
第五节　装配图中的零（部）件序号、明细栏和技术要求 …… 205
第六节　装配结构合理性简介 …… 206
第七节　零、部件测绘 …… 208
第八节　装配图的画法 …… 212
第九节　读装配图和拆画零件图 …… 215
第十二章　计算机绘图基础 …… 222
第一节　计算机绘图概述 …… 222
第二节　AutoCAD 软件简介 …… 222
第三节　AutoCAD 二维图形绘制 …… 228
第四节　尺寸标注与块操作 …… 246
第五节　AutoCAD 绘图举例 …… 256
附录 …… 265
附录 1　标准尺寸 …… 265
附录 2　常用化学元素符号 …… 265
附录 3　普通螺纹 …… 266

附录 4 55°非密封管螺纹 …… 267
附录 5 梯形螺纹 …… 268
附录 6 六角头螺栓 …… 269
附录 7 双头螺柱 …… 270
附录 8 开槽螺钉 …… 271
附录 9 十字槽螺钉 …… 272
附录 10 1 型六角螺母 …… 273
附录 11 普通垫圈 …… 274
附录 12 标准型弹簧垫圈 …… 274
附录 13 普通平键 …… 275
附录 14 圆柱销（不淬硬钢和奥氏体不锈钢）…… 276
附录 15 圆锥销 …… 276
附录 16 紧固件通孔及沉孔尺寸 …… 277
附录 17 深沟球轴承 …… 278
附录 18 圆锥滚子轴承 …… 279
附录 19 单向推力球轴承 …… 280
附录 20 角接触球轴承 …… 281
附录 21 标准公差数值 …… 282
附录 22 轴的基本偏差数值 …… 282
附录 23 轴的极限偏差 …… 283
附录 24 优先用途孔的极限偏差 …… 287
附录 25 几何公差的公差值 …… 288
附录 26 铸铁的种类、牌号和应用 …… 289
附录 27 碳素结构钢的种类、牌号和应用 …… 289
附录 28 合金结构钢的种类、牌号和应用 …… 291
附录 29 铸造铜合金、铸造铝合金、铸造轴承合金的种类、牌号和应用 …… 292
附录 30 各种非金属材料的种类、名称、牌号（或代号）和应用 …… 293
参考文献 …… 294

绪　论

一、本课程的研究对象

画法几何及机械制图是一门研究绘制和阅读机械图样、图解空间几何问题以及介绍计算机绘图基本知识的技术基础课。

二、本课程的内容和要求

1. 内容

本课程的内容可分为画法几何、机械制图和计算机绘图基础三个部分。

（1）画法几何　画法几何的内容可归纳为两个方面：

1）图示法。研究用投影法表达空间几何形体的基本理论和方法。

2）图解法。研究图解空间几何问题的基本理论和方法。

可见画法几何除用以图解空间几何问题外，还为机械制图中用图形表达空间几何形体提供了基本理论和基本图示方法，是机械制图的理论基础。因此，同学们必须熟练掌握画法几何的基本理论、基本知识和基本图示方法。

（2）机械制图　机械制图的主要内容有制图的基本知识和基本技能、投影制图以及运用投影法绘制和阅读机械图样。一切机器、仪器等都是按照图样来进行生产的。所谓图样，就是根据投影原理、标准或有关规定表示工程对象，并有必要的技术说明的图。它是表达和交流技术思想的重要工具，是工程技术部门的重要技术文件。一句话，它是工程界的技术语言。因此，同学们必须精通这种“语言”。

（3）计算机绘图基础　为了满足生产上对计算机辅助设计日益迫切、日益增长的需要，本教材编写了“计算机绘图基础”作为本教程的基础内容，这是对本课程教学内容和教学方法的重大改革。本教材采用 AutoCAD 2008 中文版，主要介绍计算机绘图基本知识，可满足后继课程关于计算机辅助设计的图形要求。

2. 要求

（1）画法几何部分　掌握用投影法表达空间几何形体和图解空间几何问题的基本理论和方法。

（2）机械制图部分　培养绘制和阅读零件图及装配图的基本能力。

（3）计算机绘图基础部分　了解计算机绘图的意义和特点，培养计算机绘图的初步能力。

三、本课程的学习目的

1）掌握用投影法（主要是正投影法）在平面上表示空间几何形体的图示法和图解空间几何问题的图解法。

2）培养绘制和阅读机械图样的能力。

3）培养用计算机生成图样的初步能力。

4）培养空间逻辑思维和形象思维能力。

5）培养分析问题和解决问题的能力。

6）培养认真负责的工作态度和严谨细致的工作作风。

四、本课程的学习方法

本课程是一门既有系统理论，又有较强实践性的技术基础课。本课程的三部分内容紧密联系，又各

有特点。为了学好本课程，这里简要地介绍一下各部分内容的学习方法。

1. 画法几何部分

学好画法几何的关键是根据它的特点进行学习。画法几何的第一个特点是系统性强，前后内容联系紧密。因此，学习时一定要在消化、理解前面内容的基础上，再学习后面的内容，不能“欠账”。只有熟练掌握前面介绍的各种基本作图问题，才能顺利解决后面遇到的各种综合性作图问题。

画法几何的第二个特点是逻辑性强。因此在学习过程中，要特别注意学习和掌握课程中解题时所采用的逻辑推理的分析方法，从而不断提高自己的逻辑思维能力，以及分析问题和解决问题的能力。

画法几何的第三个特点是空间和平面联系紧密。因此在听课、复习和做作业时，要经常进行空间几何关系的分析，建立空间问题与平面图形间的联系。

画法几何的第四个特点是它的理论只有通过实际解题和作图，才能深刻理解、真正掌握。因此在复习理论内容的基础上，一定要多做习题、多练习。

2. 机械制图部分

机械制图的第一个特点是实践性强；第二个特点是以画法几何为基础，空间和平面联系紧密；第三个特点是机械图样是“工程界的技术语言”，因此在图样格式、画法和尺寸注法等方面都有国家标准规定；第四个特点是机械图样是直接用来指导生产和进行技术交流的重要技术文件，图样的任何差错都会直接导致经济损失等严重后果。因此学习这部分内容时，应善于联系和运用画法几何的知识，尤其应注重实践，多看实物（模型、机器零部件和各种机械产品的实物和生产图样）多做练习，经常由物画图、由图想物，做到图物对照、读（图）画（图）结合，多读多画、反复实践。对于图样中的尺寸，应做到前后联系不断线，分析比较找差别，全面归纳作总结。从标注尺寸的基本规定到平面图形的尺寸标注，基本体和组合体的尺寸标注，零件图的尺寸标注，装配图的尺寸标注等前后一线贯穿；并善于分析、比较，如组合体与零件图尺寸标注的共性和个性，零件图和装配图尺寸标注的差异等；还应注意归纳总结，从而得出标注尺寸应正确（符合国家标准规定）、完整、清晰、合理的基本要求。在制图作业中，要正确使用绘图工具和仪器，并熟悉和严格遵守技术制图、机械制图国家标准和其他相关的国家标准。一定要养成认真、负责的工作态度和严谨、细致的工作作风，以保证画出符合要求的高质量的图样。

3. 计算机绘图基础部分

计算机绘图是适应现代化建设的新技术。工程图样从手工（徒手或仪器）绘制到计算机绘制是生产和科研领域的一个重大变革和飞跃，也是本课程教学内容和教学方法的重大改革和突破。同学们必须掌握这种新技术。为此学习时，应认真听课，及时复习，理解基本内容，熟悉各种作图命令，掌握图样的绘制方法，并认真上机操作，努力提高实际操作水平，从而为今后进行计算机辅助设计打下良好的基础。

第一章 制图的基本知识和基本技能

第一节 制图的基本规定

为了便于国际贸易和国际间的技术合作与技术交流，国际工程界必须具有统一的技术语言。因此，国际标准化组织（ISO）制定了“技术制图”和“机械制图”的国际标准，即“ISO”标准。我国作为世界贸易组织（WTO）的成员国，必须与国际接轨。为此，中国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会，以国际标准为基础，即在等效、等同或参照采用国际标准的原则下，制定了中华人民共和国国家标准，用GB、GB/T或GB/Z[㊀]表示，通常称为制图标准。制图标准一般包括制图的基本规定、基本表示法、特殊表示法和图形符号四类标准。本节先介绍制图基本规定方面的一些标准。

一、图纸幅面和格式（GB/T 14689—2008）

（一）图纸幅面

图纸的基本幅面共有五种，分别用幅面代号A0、A1、A2、A3、A4表示，见图1-1。其中A0的幅面尺寸规定为841mm×1189mm，由A0幅面对折裁开的次数就是所得图纸的幅面代号数。由此得到的各种幅面代号和尺寸见表1-1。

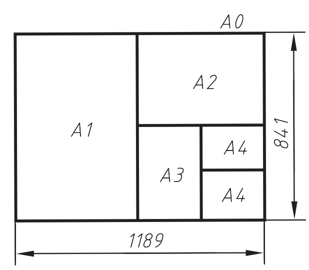


图1-1 图纸的五种基本幅面

绘制技术图样时，应优先采用基本幅面。必要时，也允许选用国家标准GB/T 14689—2008《技术制图 图纸幅面和格式》中所规定的加长幅面。

（二）图框格式

在图纸上必须用粗实线画出图框，图样必须画在图框之内。图框格式分为不留装订边和留有装订边两种。但同一产品的图样只能采用同一种格式。不留装订边的图纸，其图框格式见图1-2a、b；留有装订边的图纸，其图框格式见图1-2c、d。图框尺寸e、c、a需符合表1-1的规定。

表1-1 图纸基本幅面代号和尺寸 （单位：mm）

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
e	20		10		
c	10			5	
a	25				

二、标题栏（GB/T 10609.1—2008）

每张技术图样中均应画出标题栏。国家标准GB/T 10609.1—2008《技术制图 标题栏》规定的标题栏的内容、格式和尺寸见图1-3。在学生的制图作业中，建议采用图1-4所示的学生用标题栏。

标题栏的位置一般应位于图纸的右下角，见图1-2。看图的方向应与看标题栏的方向一致，即标题栏中的文字方向为看图方向。此外，标题栏的线型、字体、（签字除外）和年、月、日的填写格式均应符合相应国家标准的规定。

㊀ GB为强制性国家标准，GB/T为推荐性国家标准，GB/Z为指导性国家标准。

三、比例（GB/T 14690—1993）

图样中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比称为比例。比例按其比值大小可分为：①原值比例——比值为 1 的比例，即 1∶1；②放大比例——比值大于 1 的比例，如 2∶1 等；③缩小比例——比值小于 1 的比例，如 1∶2 等。

绘制图样时，应首先选择表 1-2 中“优先选用的比例”，必要时也可选择“允许选用的比例”。

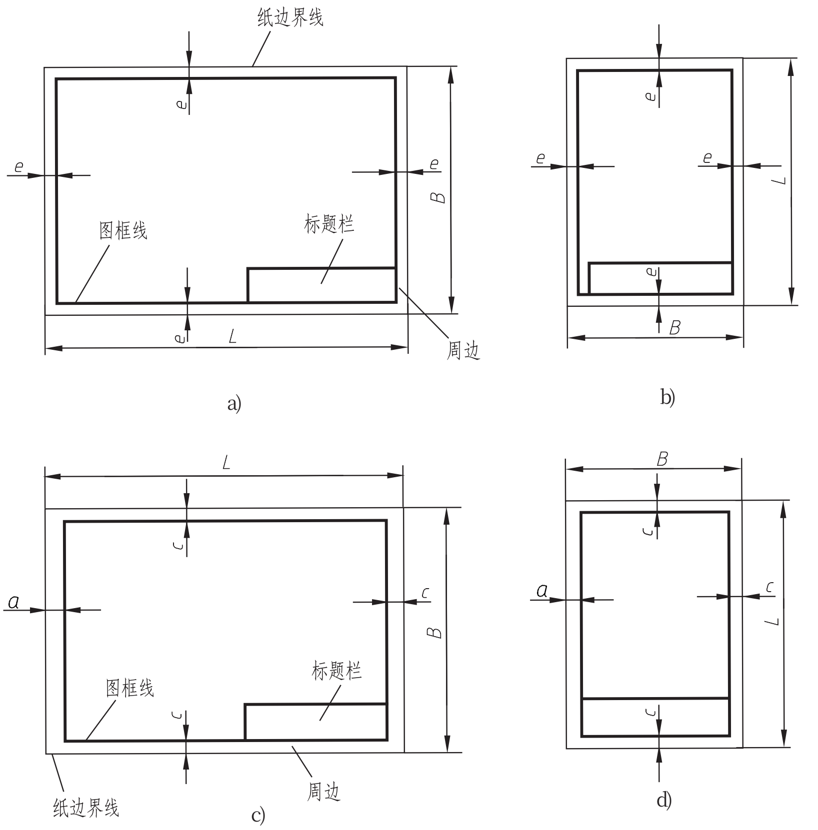


图 1-2　图框格式

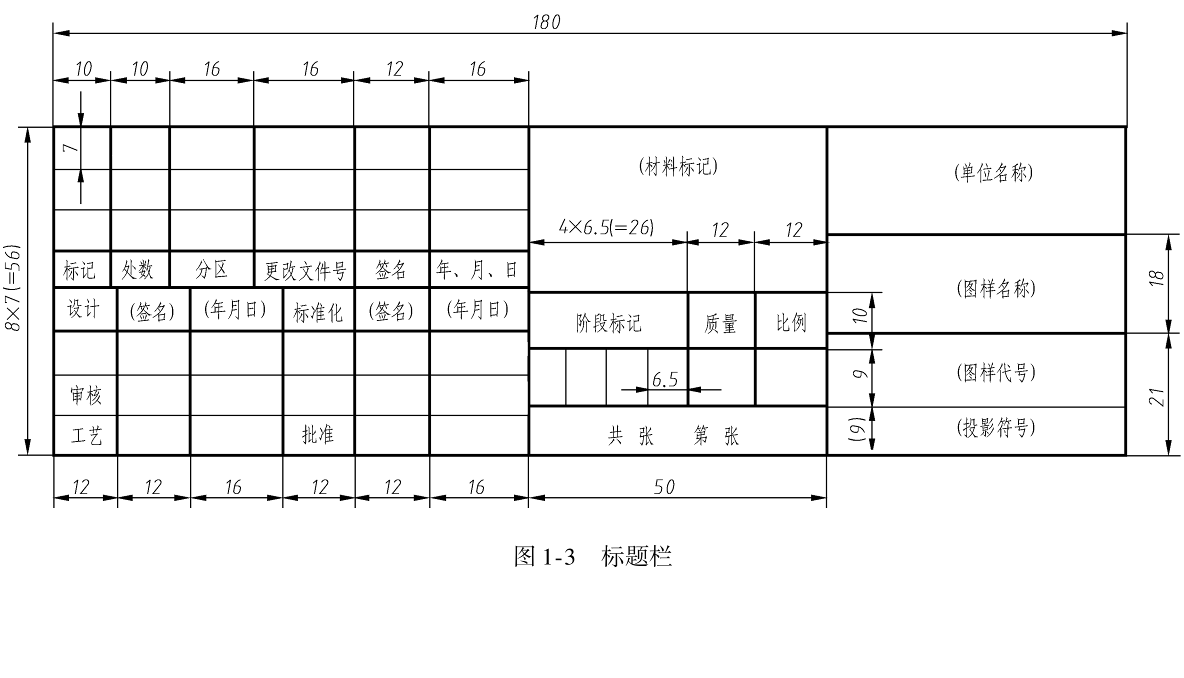


图 1-3　标题栏

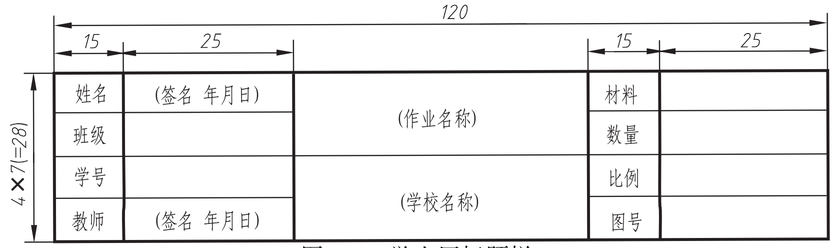


图 1-4　学生用标题栏

表 1-2　比例

种类＼选用	优先选用的比例	允许选用的比例
原值比例	1:1	—
放大比例	5:1　2:1 5×10^n:1　2×10^n:1　1×10^n:1	4:1　2.5:1 4×10^n:1　2.5×10^n:1
缩小比例	1:2　1:5　1:10 1:2×10^n　1:5×10^n　1:1×10^n	1:1.5　1:2.5　1:3　1:4　1:6 1:1.5×10^n　1:2.5×10^n　1:3×10^n　1:4×10^n　1:6×10^n

注：n 为正整数。

比例用符号“:”表示，如 1:1、1:500、20:1 等。比例一般应标注在标题栏中的比例栏内；必要时，可在视图名称的下方或右侧标注比例，如$\frac{\text{I}}{2:1}$、$\frac{A}{1:100}$、$\frac{B—B}{25:1}$等。

四、字体（GB/T 14691—1993）

国家标准 GB/T 14691—1993《技术制图　字体》规定了技术图样及有关技术文件中的汉字、字母和数字的结构形式及基本尺寸。

（一）基本要求

1）图样中书写的字体必须做到：字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐。

2）字体高度（h）的公称尺寸系列为：1.8mm，2.5mm，3.5mm，5mm，7mm，10mm，14mm，20mm。该数系的公比为 $1/\sqrt{2}$（≈1:1.4）。字体高度的毫米数就是字体的号数。

3）汉字应写成长仿宋体，并应采用中华人民共和国国务院正式公布推行的《汉字简化方案》中规定的简化字。汉字的高度 h 不应小于 3.5mm，其字宽一般为 $h/\sqrt{2}$（≈0.7h）。

4）字母和数字分 A 型和 B 型。A 型字体的笔画宽度 d 为字高 h 的 1/14；B 型字体的笔画宽度 d 为字高 h 的 1/10。在同一图样上只允许使用一种形式的字体。

5）字母和数字可写成斜体或直体。斜体字字头向右倾斜，与水平基准线成 75°。

（二）汉字、字母和数字（A 型斜体）示例

1）长仿宋体汉字示例。

字体工整　笔画清楚　间隔均匀　排列整齐

横平竖直注意起落结构均匀填满方格

汉字应写成长仿宋体字并应采用中华人民共和国国务院正式公布推行的汉字简化方案中规定的简化字

长仿宋体字的书写要领是：横平竖直，注意起落，结构均匀，填满方格。

2）拉丁字母示例。

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

3）希腊字母示例。

ΑΒΓΔΕΖΗΘΙΚΛΜΝΞΟΠΡΣΤΥΦΧΨΩ

αβγδεζηθϑικλμνξοπρστυφφχψω

4）阿拉伯数字示例。

0123456789

5）罗马数字示例。

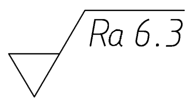
Ⅰ Ⅱ Ⅲ Ⅳ Ⅴ Ⅵ Ⅶ Ⅷ Ⅸ Ⅹ

（三）综合应用规定

1）用作指数、分数、极限偏差、注脚等的数字及字母，一般应采用小一号的字体。示例：

10^{3}　S^{-1}　D_{1}　T_{d}　$\phi 20^{+0.010}_{-0.023}$　$7^{\circ}{}^{+1^{\circ}}_{-2^{\circ}}$　$\frac{3}{5}$

2）其他应用示例。

R8　5%　$\frac{II}{2:1}$　$\frac{A\curvearrowleft}{5:1}$　

五、图线

在绘制机械图样时，必须采用国家标准 GB/T 4457.4—2002《机械制图　图样画法　图线》中规定的图线。

（一）图线的线型

在上述国家标准中，共规定了九种线型。其中常用的六种线型的号码、名称、线型、宽度和一般应用见表 1-3 和图 1-5。

表 1-3　机械图样上常用的图线

代码 No.	名称	线型	宽度	一般应用
01.1	细实线		d/2	（1）尺寸界线 8 （2）尺寸线 9 （3）剖面线 7 （4）重合断面的轮廓线 5
01.1	波浪线		d/2	（1）断裂处的边界线 15 （2）视图与剖视图的分界线 12
01.2	粗实线		d	（1）可见棱边线 4 （2）可见轮廓线 14
02.1	细虚线		d/2	（1）不可见棱边线 1 （2）不可见轮廓线 11
04.1	细点画线		d/2	（1）轴线 13 （2）对称中心线 6
05.1	细双点画线		d/2	（1）相邻辅助零件的轮廓线 10 （2）轨迹线 3 （3）可动零件的极限位置的轮廓线 2

注：1. 本表未列入应用较少的三种图线：① No. 02.2 粗虚线（允许表面处理的表示线）；② No. 04.2 粗点画线（限定范围表示线）；③ No. 01.1 双折线（应用同波浪线）。
2. 细虚线、细点画线和细双点画线，在本书中以后均省略“细”字，分别简称为虚线、点画线和双点画线。

（二）图线的尺寸

1. 图线的宽度

1）图线宽度的选择应根据图样的类型、尺寸、比例和缩微复制的要求确定，并在下列数系中选择：0.13mm，0.18mm，0.25mm，0.35mm，0.5mm，0.7mm，1mm，1.4mm，2mm。该数系的公比为 $1:\sqrt{2}$（≈1:1.4）。

2）在机械图样上，采用粗、细两种线宽，它们的比例为 2:1。粗线（粗实线、粗虚线、粗点画线）的宽度 d 在 0.25～2mm 之间选择，而细线（细实线、波浪线、虚线、点画线和双点画线）的宽度均为 $d/2$，见表 1-3。并建议粗线的宽度 d 采用 0.5mm。

3）在同一张图样中，同类图线的宽度应保持一致。

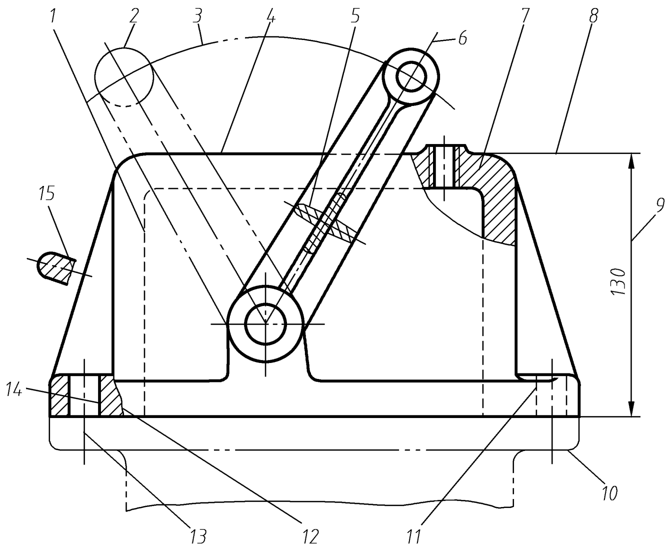
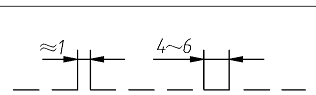
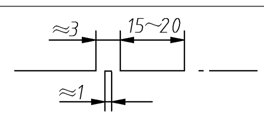
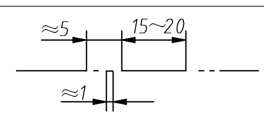


图 1-5　机械图样上常用的图线及应用示例

2. 图线中各线素的长度

图线中的虚线、点画线和双点画线等不连续线的独立部分，也就是组成这些图线的元素称为线素，如点、画和间隔等。为了同种图线画法的统一和图样的美观，国家标准 GB/T 17450—1998《技术制图　图线》中，将各种线素的长度分别规定为图线宽度 d 的倍数（本书未摘录）。在使用 AutoCAD 绘制图样时，应遵守标准中的具体规定；而在手工绘图时，则建议采用表 1-4 中的线素长度规格。并且在同一张图样中，各种线素的长度应各自大致相等。

表 1-4　各种线素的长度（手工绘图时）

虚线	点画线	双点画线
		

（三）图线的画法

在绘制机械图样时，首先应根据图线的用途正确选用相应的线型，并应符合各种图线的宽度要求和各种线素的长度要求。同时还应遵循如下画法：

1）平行画法。两条平行线之间的最小间隙不得小于 0.7mm。

2）相交画法。各种线型相交时，都应以画相交，见图 1-6。

3）延伸画法。当虚线位于粗实线（直线或圆弧）的延长线上时，则在相接处，粗实线仍应画到位，而虚线则应留出少许空隙。

4）重合画法。当有两种或多种图线重合时，通常应按如下顺序确定优先绘制的图线：粗实线→虚

线→细实线→点画线→双点画线。

5）其他画法。在绘制点画线和双点画线时，其首末两端应是线段，并应超出图形轮廓线2～5mm，见图1-6a、b。在较小的图形上绘制点画线或双点画线有困难时，可用细实线代替，见图1-6c。

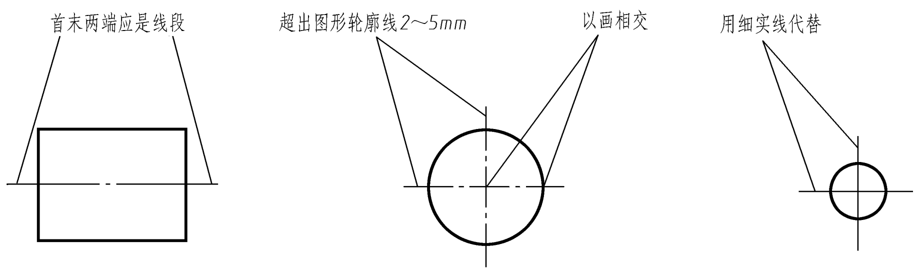


图1-6　图线的画法

六、尺寸注法（GB/T 4458.4—2003，GB/T 16675.2—1996）

图样中的图形（视图）用于表达机件的结构形状，而机件的大小则需要用尺寸来表示。为此，下面介绍国家标准GB/T 4458.4—2003《机械制图　尺寸注法》中的一些基本内容。

（一）基本规则

1）无论采用何种比例绘制图样，都必须标注机件的实际尺寸，即图样上的尺寸表示机件的真实大小。

2）图样（包括技术要求和其他说明）中的尺寸，以毫米为单位时，不需要标注单位符号（或名称）；如采用其他单位，则必须注明相应的单位符号。

3）图样中所标注的尺寸，为该图样所示机件的最后完工尺寸，否则应另加说明。

4）机件的每一尺寸，一般只标注一次，并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

（二）尺寸的组成

一个完整的尺寸，一般应由尺寸界线、尺寸线（包括箭头）和尺寸数字（包括符号）组成，见图1-7。

（1）尺寸界线　尺寸界线用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出。也可利用这些图线作为尺寸界线，如尺寸4×ϕ6。

（2）尺寸线和箭头　尺寸线用细实线绘制，其终端应画出箭头，并指到尺寸界线；箭头的形式见图1-8。尺寸线必须单独画出，不得借用其他图线，也不得画在其他图线的延长线上。当对称机件的图形只画出一半或略大于一半时，尺寸线应略超过对称中心线或断裂处的边界线，此时仅在尺寸线的一端画出箭头，见图1-7中的尺寸54、76和ϕ15。

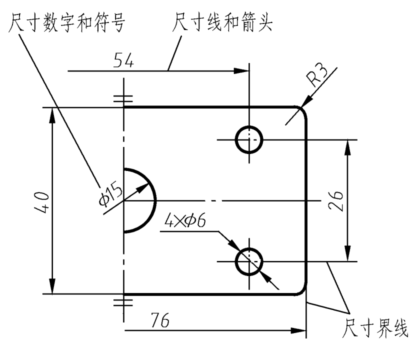


图1-7　尺寸的组成

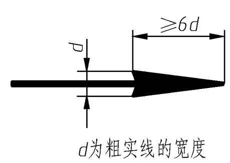


图1-8　箭头的形式

（3）尺寸数字和符号　尺寸数字的注法和符号规定等，在下面各类尺寸的注法中介绍。需要强调的是：尺寸数字不可被任何图线所通过。当无法避免时，必须把该处图线断开，见图1-7中的尺寸

$\phi15$ 等。

（三）各类尺寸的注法

（1）线性尺寸的注法　标注线性尺寸时，尺寸线必须与所标注的线段平行。尺寸界线一般应与尺寸线垂直（必要时才允许倾斜），并超出尺寸线 2 ~ 3mm。线性尺寸的数字应按图 1-9 所示的方向注写。即水平方向的尺寸注写在尺寸线的上方，字头向上；垂直方向的尺寸注写在尺寸线的左方，字头向左；倾斜方向的尺寸注写在尺寸线的斜上方，字头也向着斜上方（也允许将尺寸数字注写在尺寸线的中断处，但字头方向的规定不变）。应尽可能避免在图示 30°范围内标注尺寸。当无法避免时，可按图 1-10a 或图 1-10b 的形式引出标注。

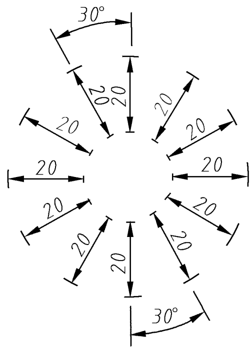
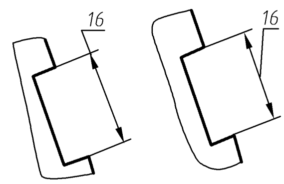


图 1-9　线性尺寸数字的注法



a)　b)

图 1-10　尺寸数字的引出标注

（2）圆、圆弧及球面尺寸的注法

1）标注圆的直径时，应在尺寸数字前加注符号“ϕ”；标注圆弧半径时，应在尺寸数字前加注符号“R”。圆的直径和圆弧半径尺寸线的终端应画成箭头，并按图 1-11 所示的方法标注。

2）当圆弧的半径过大或在图样范围内无法按常规标出其圆心位置时，可按图 1-12a 的形式折弯标注；若不需要标出其圆心位置时，可按图 1-12b 的形式标注。

3）标注球面的直径或半径时，应在尺寸数字前分别加注符号“$S\phi$”或“SR”，见图 1-13。

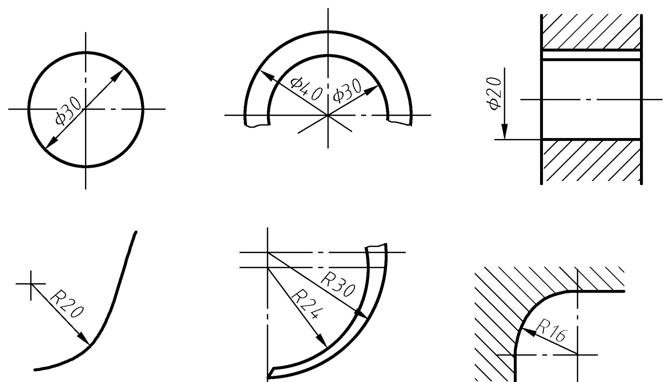
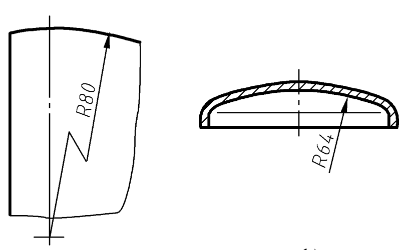


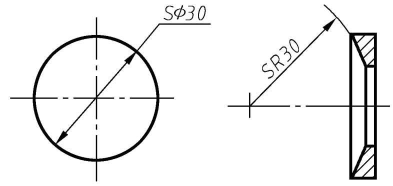
图 1-11　圆及圆弧尺寸的标注



a)　b)

图 1-12　大圆弧尺寸的注法

a）折弯标注　b）不需标出圆心位置时



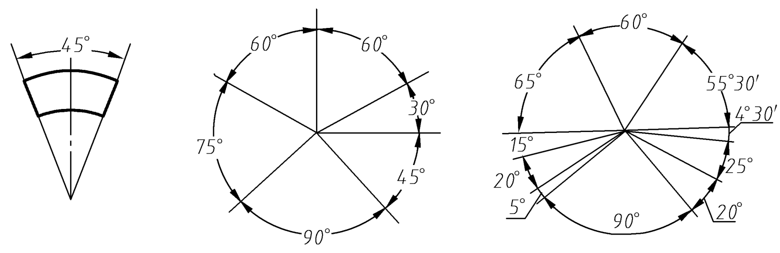
a)　b)

图 1-13　球面尺寸的注法

a）球直径的注法　b）球半径的注法

4）圆、圆弧以及球面的尺寸均属于线性尺寸，所以其尺寸数字也按图1-9所示的方向注写。

（3）角度尺寸的注法　标注角度时，尺寸界线应自径向引出，尺寸线应画成圆弧，其圆心是该角的顶点，见图1-14a；角度的数字一律写成水平方向，一般注写在尺寸线的中断处，见图1-14a、b，必要时也可按图1-14c的形式标注。角度尺寸必须注明单位，见图1-14。



a)　　b)　　c)

图1-14　角度尺寸的注法

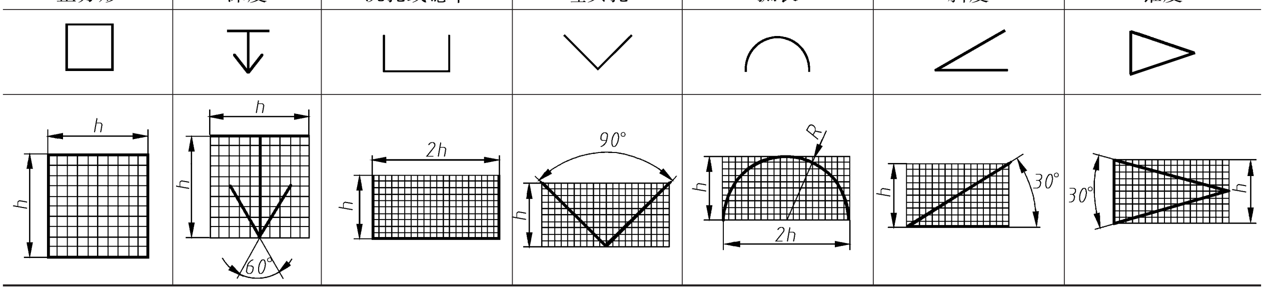
（4）小间距尺寸的注法　对于小间距尺寸，即两条尺寸界线间的距离很小的尺寸，在没有足够的位置画箭头或注写数字时，可按图1-15的形式标注，即尺寸箭头可从外向里指到尺寸界线，并可用实心小圆点代替箭头，尺寸数字可采用旁注或引出标注。

（四）尺寸符号和缩写词

标注尺寸时，应尽可能使用符号和缩写词。常用的符号和缩写词见表1-5。部分标注示例见图1-16。

表1-5　标注尺寸时常用的符号和缩写词（GB/T 4458.4—2003）

直径	半径	球直径	球半径	厚度	45°倒角	均布
ϕ	R	$S\phi$	SR	t	C	EQS
正方形	深度	沉孔或锪平	埋头孔	弧长	斜度	锥度



注：符号的线宽为 $h/10$（h 为字体高度）。

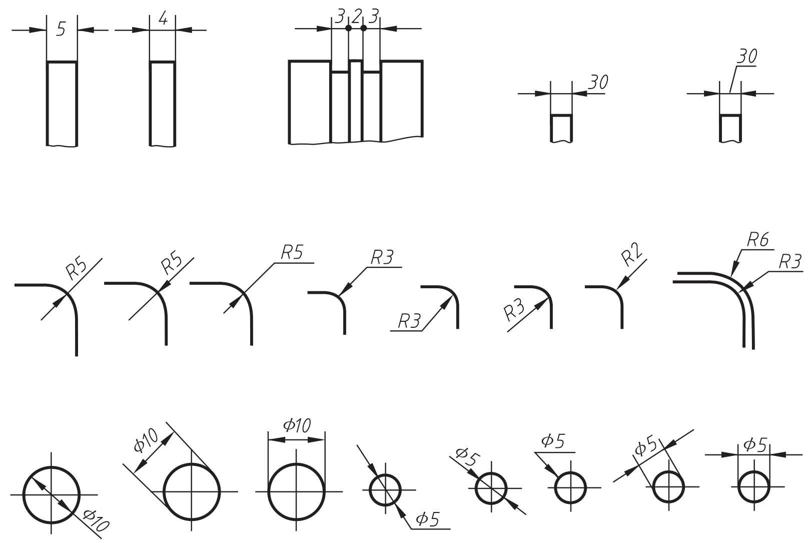


图1-15　小间距尺寸的注法

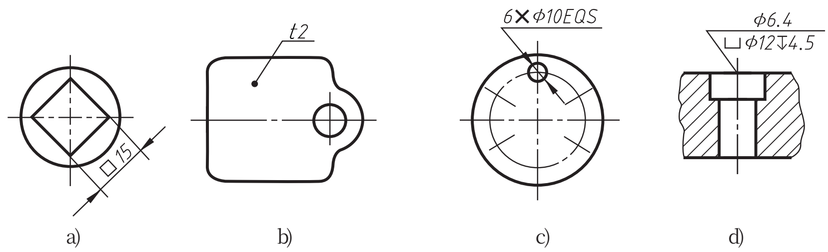


图 1-16　采用符号和缩写词标注尺寸示例

第二节　制图工具和仪器的使用方法

手工绘制机械图样时，需要使用绘图工具和仪器，因而正确、熟练地使用绘图工具和仪器可以提高图样的质量，加快绘图的速度。为此将常用的绘图工具和仪器的使用方法介绍如下。

一、图板

图板主要用来铺放和固定图纸（见图 1-17），且各种绘图工具和仪器均需借助于平整、光滑的图板板面进行绘图。此外，丁字尺也以图板平直的工作边（左边）为依靠进行移动和工作。

二、丁字尺

丁字尺由尺头和尺身两部分组成，见图 1-18。尺头的右边和尺身的上边为工作边。丁字尺的主要用途是与图板配合画水平线。画线时用左手扶住尺头，并使尺头工作边与图板工作边靠紧，上、下移动丁字尺至画线位置，即可用笔沿尺身工作边从左向右画出水平线。

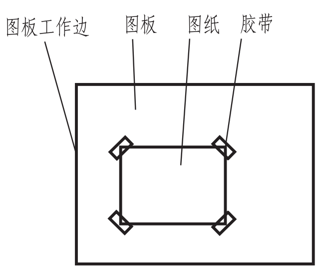


图 1-17　图板

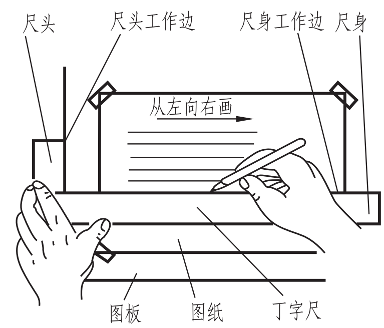


图 1-18　丁字尺画水平线

三、三角板

一副三角板有两块：一块是两锐角均为 45°的直角三角形；另一块是两锐角分别为 30°和 60°的直角三角形。三角板与丁字尺、图板配合，可以用来画水平线的垂直线，见图 1-19。画线时，三角板的一个直角边靠紧丁字尺的尺身工作边，另一直角边置于左侧，左、右移动三角板至画线位置，即可自下向上画出水平线的垂直线。

一副三角板与丁字尺、图板配合，还可以画出与水平线成 15°整数倍角度的倾斜线，见图 1-20。

此外，一副三角板配合，还可以画出任意已知直线的平行线或垂直线，见图 1-21。如画平行线时，见图 1-21a，将一个三角板的一边对准已知直线，即与已知直线重合；然后将另一个三角板的一边贴紧在第一个三角板的另一边上，并固定不动；再将第一个三角板沿两三角板的贴紧边移动至需要的位置，即可在该位置处画出已知直线的平行线。画已知直线的垂直线见图 1-21b，其画法与画平行线相似，请

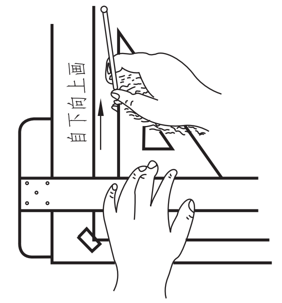


图1-19　三角板画垂直线

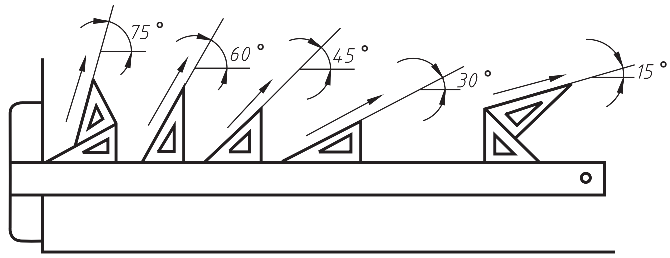


图1-20　三角板画15°倍数角度的倾斜线

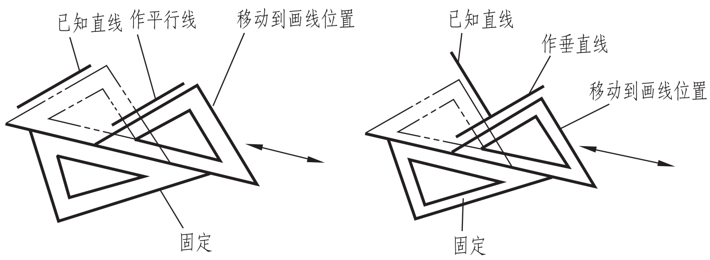
读者自行分析。

四、绘图仪器

市场上有各种不同件数的绘图仪器出售。图1-22所示为一盒十三件绘图仪器。下面就其中的分规和圆规及其附件的用法简要介绍如下。

（一）分规

分规的两腿均装有钢针，当分规的两腿合拢时，两针尖应合成一点，见图1-22。分规主要用于量取尺寸和截取线段，见图1-23。其中图1-23c为截取若干等长线段时的情况。截取时应使分规的两腿交替为轴，沿给出的直线连续截取，这样不但操作方便，而且截取线段的误差小。



a)　　b)

图1-21　三角板画已知直线的平行线和垂直线

a）画已知直线的平行线　b）画已知直线的垂直线

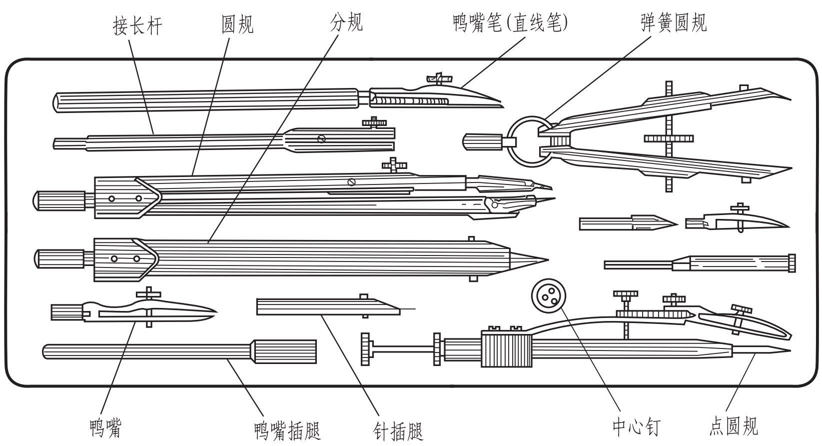


图1-22　绘图仪器

（二）圆规

圆规主要用来画圆和圆弧。圆规有两条腿，其中一条腿上装有一枚钢针，钢针两端的形状不同：一端是长圆锥形，呈缝衣针状；另一端是短圆锥形，并有一个台阶。另一条腿上可安装铅芯插腿，用于画

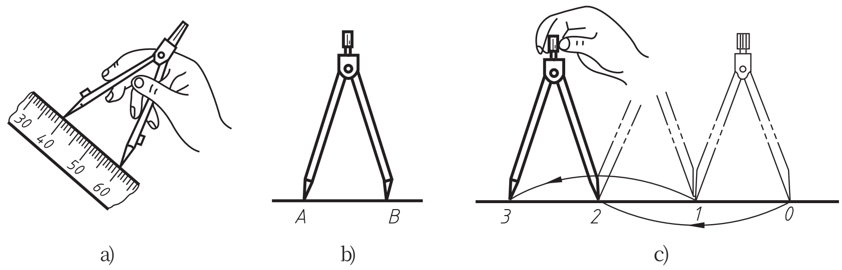


图 1-23　分规

a）量取尺寸　b）截取线段　c）截取若干等长线段

铅笔圆，或安装鸭嘴，用于画墨线圆。

画圆时，应将铅芯削好，将钢针有台阶的一端朝下，并调节两者适当的伸出长度，使台阶面与铅芯尖（或鸭嘴尖）平齐；然后采用单手定心法或双手定心法将钢针尖对准圆心（见图 1-24），并扎入图板至台阶面抵住图板、接触纸面；再调节两腿间的距离，使其为所画圆的半径；最后按顺时针方向转动圆规（圆规的两腿应向转动方向稍微倾斜）画出该圆，见图 1-25。

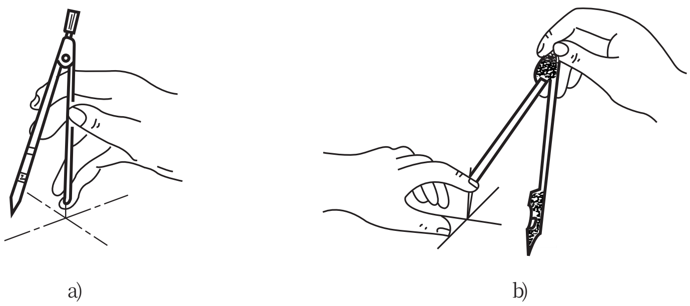


图 1-24　圆规定圆心

a）单手定心法　b）双手定心法

画较大的圆和大圆时，为防止画圆过程中铅芯插腿因受力而向外滑动，应调节钢针和铅芯插腿均与纸面保持基本垂直；当圆规两腿间张开的最大距离已不能满足画大圆的需要时，可接上附件接长杆后画圆，见图 1-26。

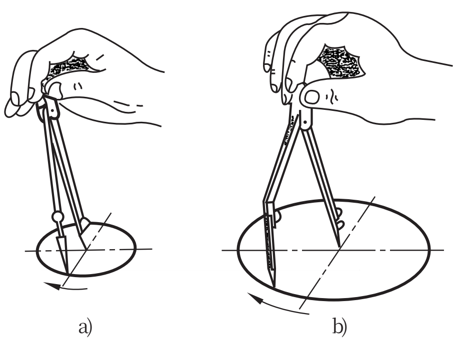


图 1-25　圆规画圆

a）画一般大小的圆　b）画较大的圆

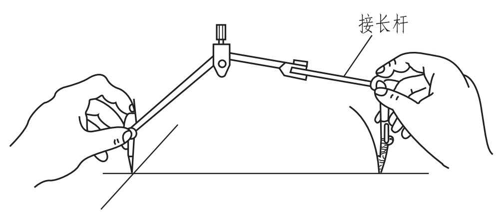


图 1-26　圆规画大圆

此外，若将圆规画圆时用的钢针调头使用，同时将铅芯插腿也换成针插腿，这样圆规就可以作为分规使用，实现分规的用途。

画小圆和特别小的圆时，可分别使用弹簧圆规和点圆规，见图 1-22。用法请读者实践之。

五、铅笔（QB/T 2774—2006）

绘图铅笔一般根据铅芯的软硬不同，分为H～10H、HB、F和B～6B共18种规格。H前数字越大，表示铅芯越硬，B前数字越大，表示铅芯越软，HB表示软硬适中。

画图时可根据不同的用途来选择不同规格的铅笔，并推荐按表1-6选用。

表1-6 铅笔硬度的选择

用　　途	打底稿	加深图线或写字	圆规用铅芯
硬度代号	H(HB)	HB(B)	B(2B)

注：画图时，习惯用力较轻者，可选用括号内的铅笔。

铅笔铅芯的伸出长度以6～8mm为宜，见图1-27a。其常用的削制形状有两种：①圆锥形，见图1-27b，当画细实线等宽度为$d/2$的各种线型时，宜削制成尖圆锥形，写字时则可削制成钝圆锥形；②矩形，见图1-27c，画粗实线时，宜削制成宽度为d的矩形，这样可以减少削制次数，加快画图速度。

六、图纸及其固定

图纸应洁白、坚韧、耐擦，并又不易起毛，并应符合国家标准规定的幅面尺寸。固定图纸时（见图1-28a），应先将图纸置于图板的左下方（下方留出的尺寸应不小于丁字尺尺身的宽度），并使图纸上面的图框线（对于未印图框线的图纸，则将图纸上面的纸边界线）对准丁字尺的尺身工作边，然后将图纸的四角用胶带（不宜使用图钉或浆糊）粘贴在图板上。当图纸的幅面尺寸较大时，为防止图纸的中间部分翘起，可在每边的适当位置加贴胶带固定，见图1-28b。

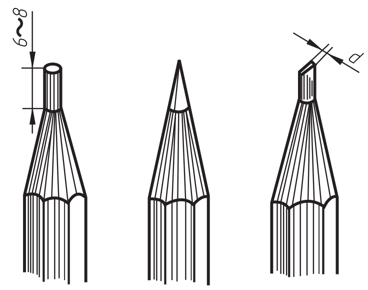


图1-27 铅笔铅芯的削制形状

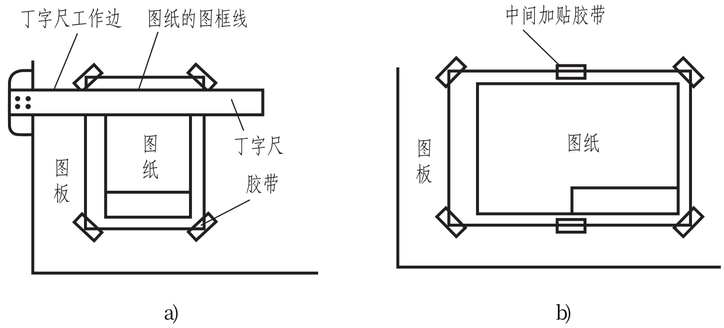


图1-28 图纸的固定

以上所述是手工绘图所使用的最基本的绘图工具、仪器和用品。随着制图技术的日益发展，许多实用的多功能的制图工具在不断问世，如擦线板、多用模板、管式制图笔、机械式绘图仪等，不一而足。这些工具的使用都有利于提高制图质量和制图速度。近年来，由于计算机技术的迅猛发展，用计算机绘图，并用打印机或自动绘图机出图，已得到了普遍使用，从而代替了手工绘图。但手工绘图是计算机绘图的基础。因此，同学们必须通过绘图实践，熟练掌握手工绘图工具的正确使用方法。

第三节　几 何 作 图

图样是由一组平面几何图形组成的。而几何图形是用直线、圆弧和非圆曲线等通过几何作图方法画成的。因此，正确、熟练地掌握常用几何作图方法，可以提高绘制图样的质量和速度。

一、作线段的垂直平分线

已知：线段AB，见图1-29。

求作：它的垂直平分线。

作图：分别以 A 和 B 为圆心，以大于 $AB/2$ 为半径画两圆弧得交点 C 和 D，则连线 CD 即为线段 AB 的垂直平分线。

二、作已知圆弧的圆心和半径

已知：圆弧 $\overset{\frown}{AC}$，见图 1-30。

求作：它的圆心和半径。

作图：在圆弧 $\overset{\frown}{AC}$ 上适当位置处取一点 B，连接 AB 和 BC，并分别作它们的垂直平分线 12 和 34，其交点 O 即为所求的圆心，而线段 OA（或 OB、OC）即为圆弧 $\overset{\frown}{AC}$ 的半径 R。

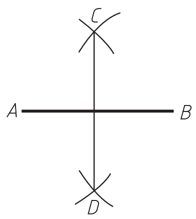


图 1-29　作线段的垂直平分线

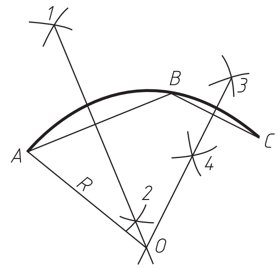


图 1-30　求已知圆弧的圆心和半径

三、等分已知线段

已知：线段 AB，见图 1-31。

求作：线段 AB 三等分。

作图：从线段 AB 的端点 A，在适当位置作射线 AC，并用分规在射线 AC 上取三个适当的等长线段 $A1=12=23$；再连接 $3B$，并过 1、2 两点分别作线段 $3B$ 的平行线交 AB 于 $1'$和 $2'$，则 $1'$和 $2'$即为等分点。即 $A1'=1'2'=2'B$，从而完成了线段 AB 的三等分。同理可将线段 AB 进行任意等分。

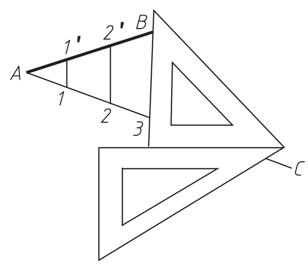


图 1-31　等分线段

四、作正六边形

在后面学习紧固件螺栓、螺母时，经常需要画正六边形。

1）已知：正六边形的对角长度 D。

求作：正六边形。

作图：画法（一），见图 1-32a。以 $D/2$ 为半径画圆，并通过圆心 O 作两条互相垂直的中心线，设其中的水平中心线与圆周的交点为 A 和 D；再分别以 A 和 D 为圆心，$D/2$ 为半径画弧，与圆周分别相交于 B、F 和 C、E 四点，顺次连接 A、B、C、D、E、F、A 各点，即得所求的正六边形。

画法（二），见图 1-32b。以 $D/2$ 为半径画圆，并通过圆心 O 作两条互相垂直的中心线，设其中的水平中心线与圆周的交点为 A 和 D；再用两锐角分别为 30°和 60°的三角板，分别过 A 和 D 作 60°斜直线 AF 和 CD；翻转三角板，再过 A 和 D 作反向的 60°斜直线 AB 和 DE；最后连接 BC 和 EF，即得所求的正六边形。

2）已知：正六边形的对边长度 S。

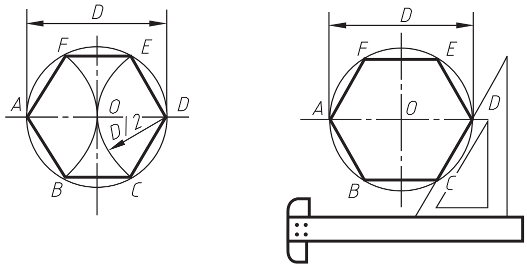
求作：正六边形。

作图：其画法见图 1-33。具体作图步骤请读者自行分析。

五、斜度

（一）定义

一直线（或平面）相对于另一直线（或平面）的倾斜程度称为斜度，用 K 表示。其值为两者夹角



a)　　b)

图 1-32　已知对角长度 D 画正六边形

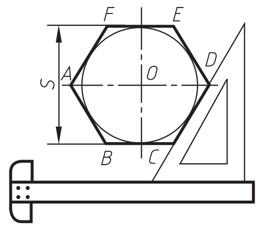


图 1-33　已知对边长度 S 画正六边形

的正切，在图样上通常化成 1∶n 的比例形式标注。在图 1-34a 中，直线 AC 对直线 AB 的斜度 K 可写为

$$K = \tan\alpha = BC/AB = 1:n \tag{1-1}$$

（二）画法

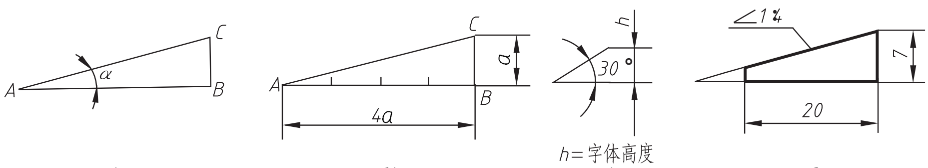
已知：一水平直线 AB。

求作：直线 AC 对直线 AB 的斜度 $K = 1:4$。

作图：把直线 AB 四等分，见图 1-34b，设每等分为 a，即 $AB = 4a$；再由点 B 作直线 AB 的垂线，并向上截取 $BC = a$，则直线 AC 对 AB 的斜度为 $K = BC/AB = a:4a = 1:4$，故直线 AC 即为所求的直线。

（三）标注

斜度应标注斜度符号和斜度值。斜度符号的画法见图 1-34c（参见表 1-5），斜度的标注见图 1-34d。需要注意：斜度符号的倾斜方向应与斜度的方向一致。



a)　　b)　　c)　　d)

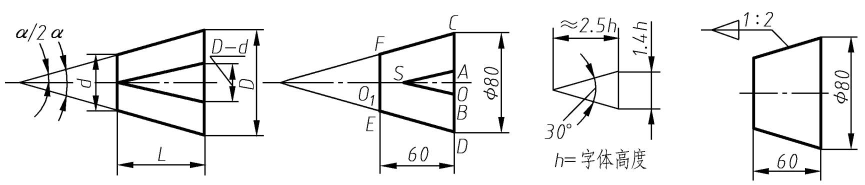
图 1-34　斜度

a）定义　b）画法　c）符号　d）标注

六、锥度（GB/T 157—2001、GB/T 15754—1995）

（一）定义

两个垂直圆锥轴线截面的圆锥直径 D 和 d 之差与该两截面之间的轴向距离 L 之比称为锥度，用 C 表示，见图 1-35a。



a)　　b)　　c)　　d)

图 1-35　锥度

a）定义　b）画法　c）符号　d）标注

即

$$C = \frac{D - d}{L} \tag{1-2}$$

由图可知，锥度 C 与圆锥角 α 的关系为

$$C = 2\tan\frac{\alpha}{2} = 1:0.5\cot\frac{\alpha}{2} \qquad (1\text{-}3)$$

锥度一般用比例 $1:n$ 或分式形式表示。

（二）画法

已知：圆锥台的底圆直径 $D = 80\text{mm}$，长度 $L = 60\text{mm}$，锥度 $C = 1:2$。

求作：此圆锥台。

作图：见图 1-35b。

1）自水平直线上的点 S 向右截取 2 个单位长度得点 O；自点 O 作 SO 的垂线，并分别向上、向下各量取半个单位长度得 A、B 两点；连接 SA 和 SB，则所得的圆锥 SAB 的锥度 $C = AB/SO = 1:2$。

2）自点 O 向上、向下取 $OC = OD = 40\text{mm}$，得 C、D 两点；并在 OS 直线上量取 $OO_1 = 60\text{mm}$ 得点 O_1；再过 C、D 两点分别作 $CF /\!/ SA$，$DE /\!/ SB$，与过点 O_1 且垂直于 OO_1 的直线相交于 E、F 两点，则 $CDEF$ 即为所求的圆锥台。

（三）标注

在图样中，锥度用锥度符号和锥度值表示。锥度符号的画法见图 1-35c（参见表 1-5）；锥度的标注见图 1-35d。需要注意的是锥度符号的方向应与锥度的方向一致。

与圆锥相关的内容可查阅国家标准 GB/T 157—2001《产品几何量技术规范（GPS）圆锥的锥度与锥角系列》和 GB/T 15754—1995《技术制图　圆锥的尺寸和公差注法》等。

七、圆弧连接

在绘制机械图样时，经常需要用一已知半径的圆弧同时与两个已知线段（直线或圆弧）彼此光滑过渡（即相切），这种情况称为圆弧连接。此圆弧称为连接弧，两个切点称为连接点。为了保证光滑地连接，必须正确地定出连接弧的圆心和两个连接点，且两相互连接的线段都要正确地画到连接点处。

（一）圆弧连接的作图原理

1）与已知直线Ⅰ相切且半径为 R 的圆弧，其圆心 O 的轨迹是两条直线Ⅱ和Ⅲ，它们与已知直线平行且距离为 R。自选定的圆心 O 向已知直线作垂线，垂足 K 就是连接点，见图 1-36a。

2）与已知圆弧（圆心为 O_1，半径为 R_1）相切的圆弧（半径为 R）的圆心 O 的轨迹是已知圆弧的同心圆，该圆的半径 R_x 要根据相切情况而定：当两圆弧外切时，$R_x = R_1 + R$，见图 1-36b；当两圆弧内切且 $R_1 > R$ 时，$R_x = R_1 - R$，见图 1-36c；当两圆弧内切且 $R > R_1$ 时，$R_x = R - R_1$，见图 1-36d。而连接点 K 为两圆弧连心线或其延长线与已知弧的交点，见图 1-36b、c、d。

（二）圆弧连接的画法

1. 用半径为 R 的圆弧连接两已知直线

图 1-37a 所示的平面图形由直线段Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和四段连接圆弧 $R10$ 组成。其中Ⅰ、Ⅱ间成钝角，Ⅱ、Ⅲ间成锐角，Ⅲ、Ⅳ间和Ⅰ、Ⅳ间成直角。虽然角度不同，但连接弧 $R10$ 的作法相同，见图 1-37b、c、d。具体的作法和步骤如下：

1）以连接弧半径 $R10$ 为距离分别作被连接两直线的平行线，其交点 O 即为连接弧的圆心。

2）由点 O 分别向被连接的两直线作垂线，垂足 M 和 N 即为两个连接点。

3）以 O 为圆心，$R10$ 为半径，自点 M 至点 N 作弧，则 $\overset{\frown}{MN}$ 即为连接两直线的连接弧。

当被连接的两直线成直角时，还可用图 1-37a 右下角所示的简便作法。

2. 用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧

（1）用半径为 R 的圆弧同时外切两已知圆弧　在图 1-38a 中，圆弧 $R15$ 同时外切于两已知圆弧 $R10$（$\phi20$）和 $R5$（$\phi10$），其连接弧 $R15$ 的作法见图 1-38b。

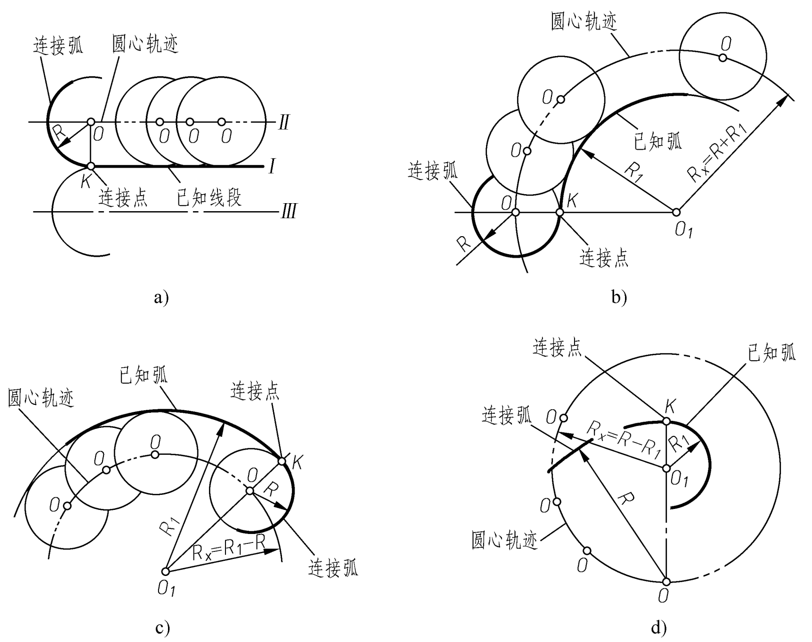


图 1-36 圆弧连接的作图原理

a）圆弧与直线相切 b）两圆弧外切 c）两圆弧内切且 $R_1>R$ d）两圆弧内切且 $R>R_1$

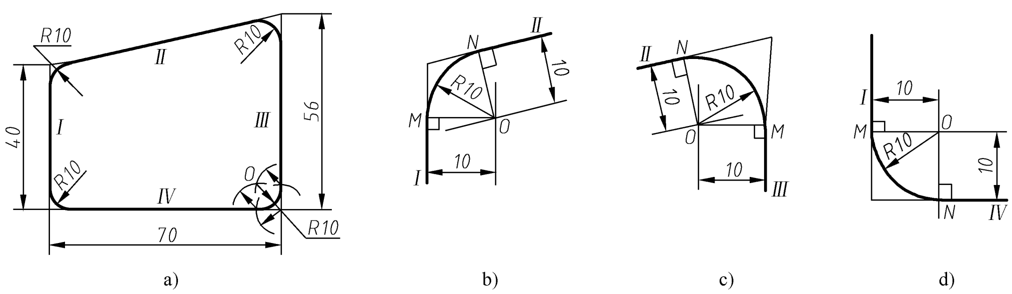


图 1-37 用半径为 R 的圆弧连接两已知直线

a）给定的平面图形和尺寸 b）两直线成钝角时 c）两直线成锐角时 d）两直线成直角时

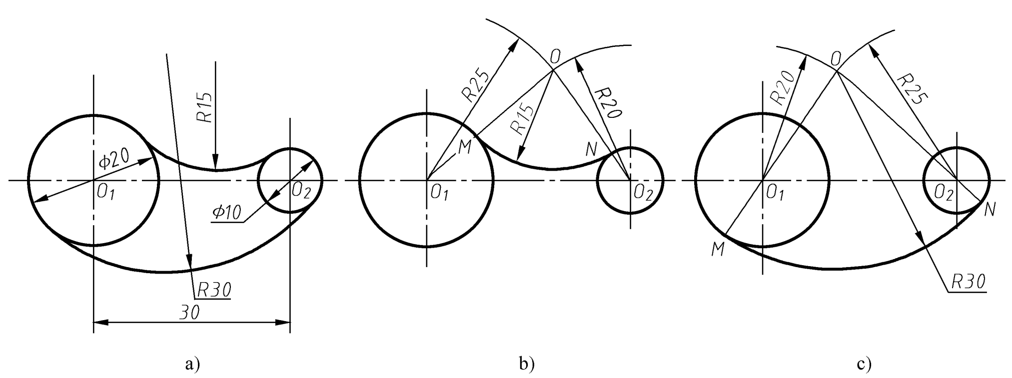


图 1-38 用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧（一）

a）给定的平面图形和尺寸 b）R15 与两已知圆弧均外切 c）R30 与两已知圆弧均内切

1）分别以 O_1、O_2 为圆心，$R_{x1}=R10+R15=R25$ 和 $R_{x2}=R5+R15=R20$ 为半径作两圆弧，其交点 O 即为连接弧 $R15$ 的圆心。

2）连 OO_1 交已知弧 $R10$ 于点 M，连 OO_2 交已知弧 $R5$ 于点 N，则 M、N 即为两个连接点。

3）以 O 为圆心，$R15$ 为半径，自点 M 到点 N 作弧，则 $\overset{\frown}{MN}$ 即为所求的连接弧。

（2）用半径为 R 的圆弧同时内切两已知圆弧　在图 1-38a 中，连接弧 $R30$ 同时内切于两已知圆弧 $R10$（$\phi20$）和 $R5$（$\phi10$），其作法见图 1-38c。

1）分别以 O_1 和 O_2 为圆心，$R_{x1} = R30 - R10 = R20$ 和 $R_{x2} = R30 - R5 = R25$ 为半径作两圆弧，其交点 O 即为所求连接弧 $R30$ 的圆心。

2）连 OO_1 并延长交已知圆弧 $R10$ 于点 M，连 OO_2 并延长交已知圆弧 $R5$ 于点 N，则 M、N 即为两个连接点。

3）以 O 为圆心，$R30$ 为半径，自点 M 到点 N 作圆弧，则 $\overset{\frown}{MN}$ 即为所求的连接弧。

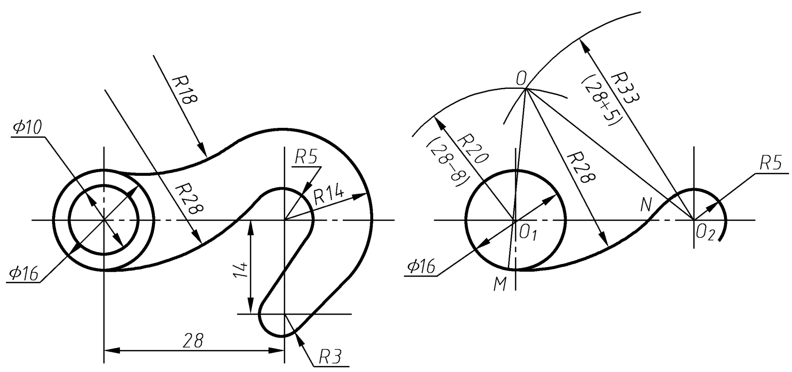
（3）用半径为 R 的圆弧分别内、外切于两已知圆弧　在图 1-39a 中，圆弧 $R28$ 与圆弧 $R8$（$\phi16$）内切，同时与圆弧 $R5$ 外切，其作图法见图 1-39b，请读者自行分析。

3. 用半径为 R 的圆弧连接一直线和一圆弧

1）在图 1-40a 中，圆弧 $R5$ 与已知直线相切连接，并与已知圆弧 $R32$（$\phi64$）相内切，其连接弧 $R5$ 的作法见图 1-40b。

2）在图 1-40a 中，圆弧 $R10$ 与已知直线相切连接，并与已知圆弧 $R14$（$\phi28$）相外切，其连接弧 $R10$ 的作法见图 1-40c。

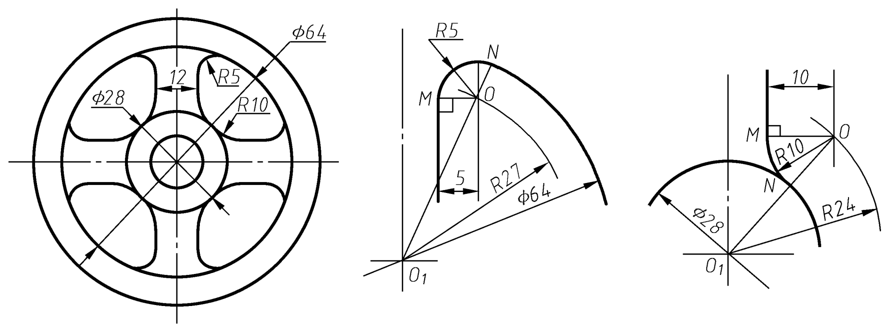
综上所述可知，无论何种情况下的圆弧连接，都是根据连接弧与两个已知线段相切的条件，分别求得其圆心的轨迹，则两轨迹的交点就是连接弧的圆心，而连接点为已知弧和连接弧的连心线或其延长线与已知弧的交点，或连接弧的圆心向已知直线作垂线的垂足。



a)　　b)

图 1-39　用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧（二）

a）给定的平面图形和尺寸　b）作连接弧 $R28$（一内切、一外切）



a)　　b)　　c)

图 1-40　用半径为 R 的圆弧连接一圆弧和一直线

a）给定的平面图形和尺寸　b）作连接弧 $R5$　c）作连接弧 $R10$

第四节　平面图形的分析、画法和尺寸注法

平面图形的分析，内容包括：①分析平面图形中所注尺寸的作用，确定组成平面图形的各个几何图形的形状、大小和相互位置；②分析平面图形中各线段所注尺寸的数量，确定组成平面图形各线段的性质和相应画法。总之，通过分析，搞清尺寸与图形之间的对应关系，从而可以解决以下两个问题：①通过对平面图形的尺寸分析，确定各线段的性质和画图顺序，即由尺寸分析，确定平面图形的画法；②运用尺寸分析，确定平面图形中应该标注哪些尺寸，不该标注哪些尺寸，即由尺寸分析，确定平面图形的尺寸注法。

一、平面图形的分析

（一）分析平面图形中尺寸的作用

平面图形中的尺寸，可根据其作用不同，分为定形尺寸和定位尺寸两类。用于表示平面图形中各个几何图形的形状和大小的尺寸称为定形尺寸；而用于表示各个几何图形间的相对位置的尺寸称为定位尺寸。如图 1-41 所示，尺寸 20、40 和 28 都是定位尺寸，而其他尺寸均为定形尺寸。

（二）分析平面图形中各线段所注尺寸的数量，确定平面图形中线段的性质和画法

平面图形中的线段（圆弧或直线段）可按其所注定形、定位尺寸的数量分为已知线段、中间线段和连接线段三类。

图 1-42a 为瓶盖扳子的内、外轮廓形状，图 1-42b 为其外形轮廓和小孔及其所注的尺寸。今以图 1-42b 中的圆弧为例加以讨论。

（1）已知弧　注有完全的定形尺寸和定位尺寸，即给出了圆弧半径 R、圆心的两个坐标 x 和 y 三个尺寸的圆弧称为已知弧。已知弧可以直接画出，如图 1-42b 中的 $\phi6$、$R5.5$ 和 $R20$。

（2）中间弧　只给出定形尺寸和一个定位尺寸，即给出圆弧半径 R 和圆心的一个坐标 x（或 y）两个尺寸，需利用它与一个已知线段相切的条件，求出圆心的另一个坐标 y（或 x）方能画出的圆弧称为中间弧，如图 1-42b 中的 $R6$。

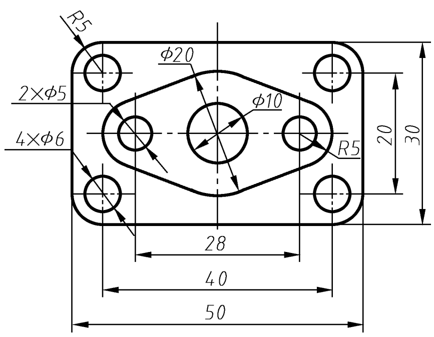
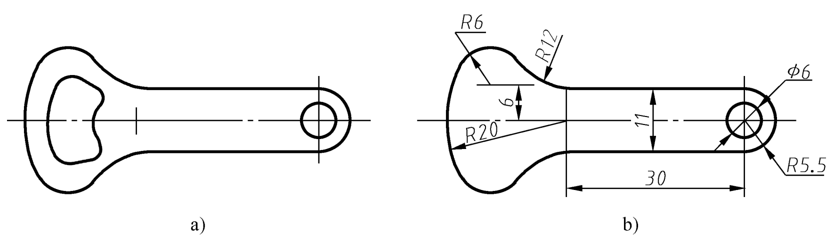


图 1-41　平面图形的尺寸分析



a)　　b)

图 1-42　平面图形的线段分析

（3）连接弧　只给出定形尺寸，没有定位尺寸，即只给出圆弧半径 R 一个尺寸，需利用它与相邻两个已知线段都相切的条件，求出圆心的两个定位尺寸 x 和 y 后，方能画出的圆弧称为连接弧，如图 1-42b 中的 $R12$。

连接弧的画法在圆弧连接中已经作了介绍，中间弧的画法与其相似，请读者自行分析。

对于直线段也可作类似的分析：过两个已知点或过一已知点并已知其方向的直线段为已知直线段；过一已知点或已知直线的方向且与已知圆弧相切的直线段为中间直线段；两端分别与两已知圆弧相切的直线段为连接直线段。

由上面的分析可知，在画平面图形时，必须首先画出已知线段，然后画出中间线段，最后画出连接

线段。

二、平面图形的画法

今以图 1-42b 为例，说明平面图形的画法：

（1）画出作图基准线　画平面图形时，一般先要画出两条正交直线（相当于坐标轴），作为作图的基准线，见图 1-43a。

（2）画已知线段　根据定位尺寸 30，定出已知线段 $\phi6$、$R5.5$ 和 $R20$ 的圆心位置，并画出这些已知线段，再根据尺寸 11，分别画出与弧 $R5.5$ 上下相切的两条平行直线段，见图 1-43b。

（3）画中间线段　画中间线段 $R6$ 时，可由定形尺寸 $R6$、定位尺寸 6 以及它和已知线段 $R20$ 相内切的条件作出，见图 1-43c。需要说明：画出中间弧 $R6$ 后，对于连接弧 $R12$ 来说，此时 $R6$ 就是已知弧了。

（4）画连接线段　画连接线段 $R12$ 时，可由定形尺寸 $R12$，以及它和已知直线段、已画出的中间弧 $R6$ 都相切的条件作出，见图 1-43d。

（5）完成全图　擦去多余的作图线，按线型要求加深图线，完成全图，见图 1-42b。

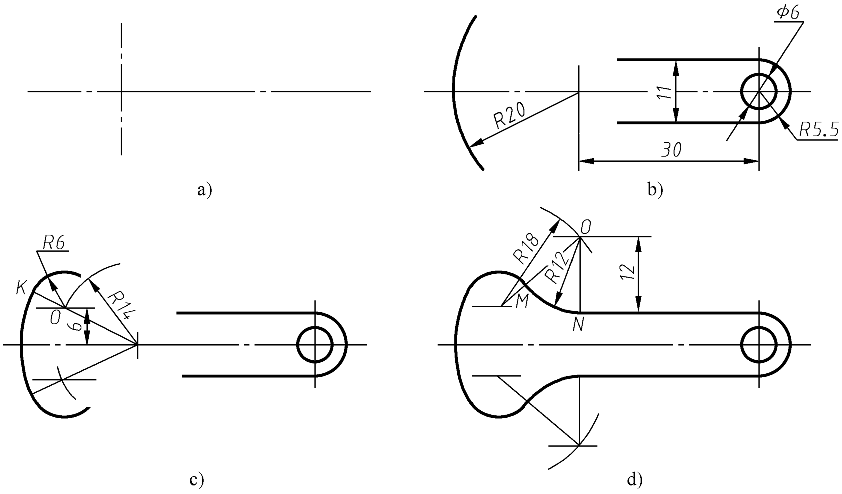


图 1-43　平面图形的画法

a）画作图基准线　b）画已知弧 $\phi6$、$R5.5$ 和 $R20$　c）画中间弧 $R6$　d）画连接弧 $R12$

三、平面图形的尺寸注法

分析图 1-44a 所示的平面图形，可以知道应该标注的定形尺寸有 $\phi30$、20、$2\times\phi6$ 和 $4\times\phi5$ 等；应标注的定位尺寸有 $\phi15$（它是 $4\times\phi5$ 的定位圆直径，而 $4\times\phi5$ 在定位圆上为均匀分布，在图 1-44a 中已示明，故一般省去该定位尺寸或标注为 $4\times\phi5$ EQS）和 22（确定 $2\times\phi6$ 的位置）。

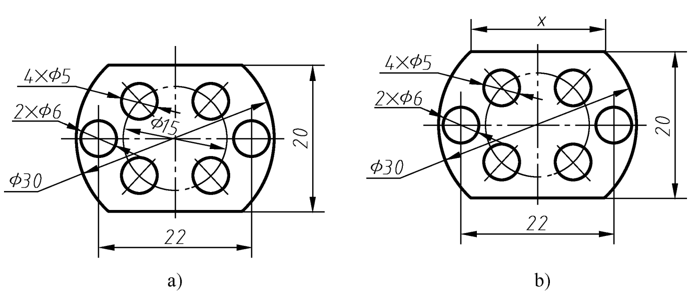
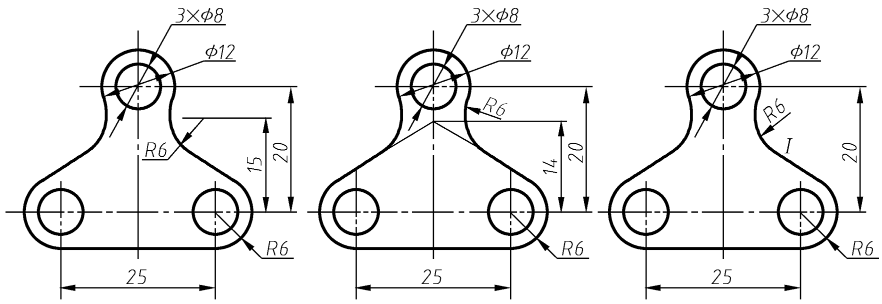


图 1-44　平面图形的尺寸注法（一）

a）正确　b）错误

分析图1-44b所示的尺寸注法，图中尺寸 x 可以由尺寸 $\phi30$ 和20作图确定（也可由这两个尺寸计算得出），所以是多余尺寸，不应标注；而 $4\times\phi5$ 则缺少一个定位尺寸 $\phi15$。

再分析图1-45所示平面图形，可以知道图1-45a和图1-45b的尺寸注法都是正确的。而在图1-45c中，$R6$ 是连接圆弧，直线Ⅰ是连接线段，这样要画出 $R6$，必须先画出直线Ⅰ，而要画出直线Ⅰ又必须先画出 $R6$，因此这两个线段都无法作出。这就是说，图1-45c中所注尺寸不全，需要增加一个定位尺寸15，使 $R6$ 成为中间弧，见图1-45a；或增加一个定位尺寸14，使直线Ⅰ成为中间线段，见图1-45b。但如果在图1-45c中同时增加尺寸15和14，则两个尺寸之一是多余的，必将导致尺寸矛盾而无法作图。



a) b) c)

图1-45 平面图形的尺寸注法（二）

a）、b）正确 c）尺寸不全

通过上面两个实例分析，可以得出如下结论：

1）在两个已知线段间，可以有任意个中间线段，但只能有一个连接线段。

2）对于连接弧，只要注出其定形尺寸半径 R，而不必注出其圆心位置的两个定位尺寸；对于中间弧，只要注出其定形尺寸半径 R 和圆心位置的一个定位尺寸，而它们的圆心位置的确定可通过相切条件由作图决定。即凡可由作图决定的尺寸（一定也可以由已标注的尺寸经过计算得到）均不必标注。

3）同一平面图形通常都可以有不同的尺寸注法，见图1-45a、b，其线段性质和画图过程也相应不同，请读者自行分析。

4）同一平面图形的不同尺寸注法，虽然都可以完全确定其平面图形，但平面图形作为表达零件的视图时，不同尺寸注法将直接影响其加工制造的难易程度，从而影响产品的成本和质量。

第五节 草图画法

以目测估计图形与实物的比例，按一定画法要求徒手绘制的图称为草图。在表达初步设计方案、参观学习或进行机器的测绘时，往往由于时间的要求或现场条件的限制，都需要采用徒手目测的方法迅速地画出草图。草图的内容一般与仪器图是一样的，它的基本要求是画图速度要快，目测尺寸比例要准，图面质量要好。因此，草图决不意味着是潦草的图。下面介绍其画法。

一、图线的画法

1. 画直线

画各种直线时，运笔的方向如图1-46箭头所示。要注意眼睛看着画线的终点，并使笔尖向着要画的方向作近似的直线移动。画短线时可以手腕运笔，画长线时则以手臂动作，手腕最好悬空。画线时也可根据各人的习惯，将图纸旋转一适当的角度放置，使画线时比较顺手。

2. 画角度线

对于30°、45°和60°等常用角度，可根据两直角边的近似比例关系定出两端点，然后连接两点即为所画的角度线，见图1-47a、b、c；如画10°、15°等角度线，可先画出30°角，然后再等分求得，见图1-47d。

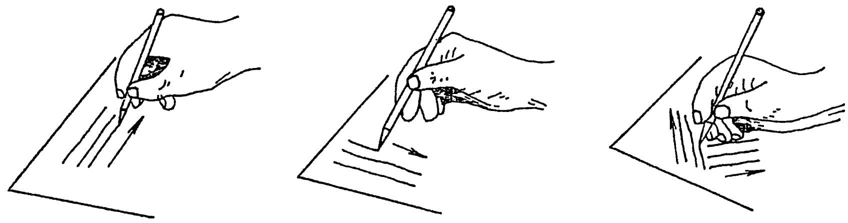


图 1-46　徒手画直线
a）画水平线　b）画垂直线　c）画倾斜线

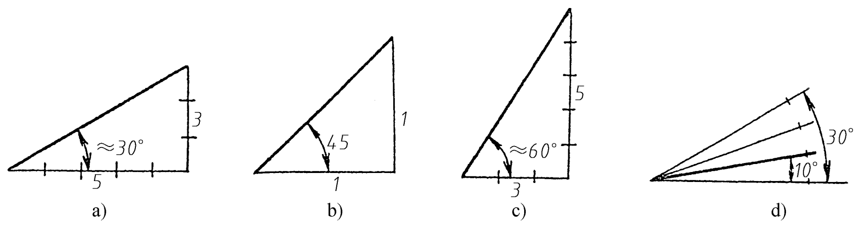


图 1-47　徒手画角度线
a）画 30°角度线　b）画 45°角度线　c）画 60°角度线　d）画 10°角度线

3. 画圆

画圆时，先作出两条互相垂直的中心线，其交点定为圆心，然后根据圆半径的大小，在两条中心线上定出四条半径线的端点，并通过这四个端点画圆，见图 1-48a。徒手画较大的圆时，应通过圆心再加画两条 45°斜线，定出另四条半径线的端点，并通过这八个端点画圆，见图 1-48b。

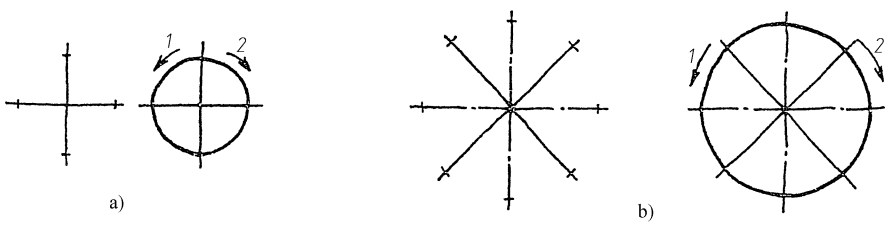


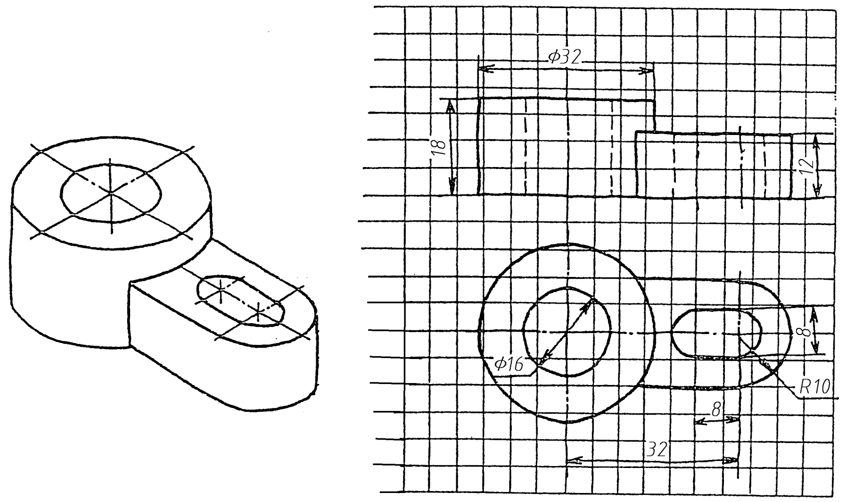
图 1-48　徒手画圆
a）小圆画法　b）大圆画法

二、平面图形的画法

画表示物体的平面图形（视图）时，除按上述方法画线外，更要注意保持物体各部分的尺寸比例和投影关系。因此在开始画图时，一定要仔细确定物体长、宽、高的相对比例，然后在画某个局部和细节部分时，要随时与已拟定的总体尺寸比例进行比较并协调一致。

对于初学画草图者，可以用方格纸来画。画图时应充分利用方格纸的格线，使轴线、中心线、对称线等定位线与格线重合，各部分的尺寸大小也可按方格纸的读数（一般每格为 5mm × 5mm）来控制。这样既容易画线，又便于控制图形各部分的比例和保持投影关系，见图 1-49。

总之，画草图的关键一是“目测”，二是“徒手”。所以要画好草图，必须目测尺寸比例正确，并掌握徒手作图的基本技能。而这决不是一朝一夕就能达到的，为此除掌握一定的方法外，还必须经常练习，反复实践。



a) b)

图 1-49　徒手画平面图形（视图）

需要说明的是：

1）在现场条件许可时，草图也可部分使用绘图仪器来绘制。

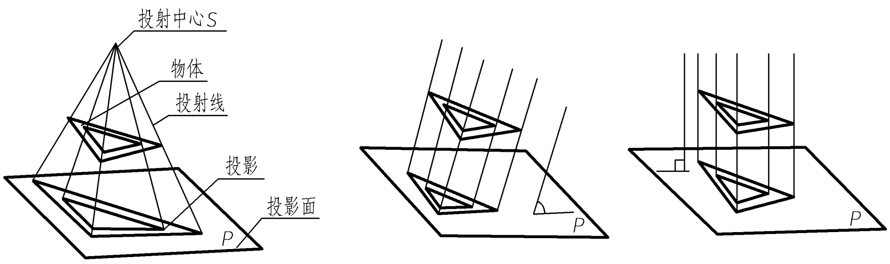
2）在计算机已经普及的今天，建议将零部件测绘时（参见第十一章第七节）徒手画的草图，在返回办公地后，立即用 AutoCAD 软件重新绘制，以确保图样正确和清晰。

第二章　投影的基本知识

第一节　投影法及其分类

一、投影法

将投射线通过物体，向选定的面投射，并在该面上得到图形的方法称为投影法。根据投影法所得到的图形称为投影图（投影）；投影法中得到投影的面（P）称为投影面，见图 2-1。



a)　　b)　　c)

图 2-1　投影法及其分类

a）中心投影法　b）平行投影法——斜投影法　c）平行投影法——正投影法

二、投影法的分类

根据投射线是否汇交或平行的特征，投影法可分为：

1. 中心投影法

投射线汇交于一点的投影法称为中心投影法，见图 2-1a。投射线的汇交点 S 称为投射中心。

2. 平行投影法

投射线相互平行的投影法称为平行投影法，见图 2-1b、c。在平行投影法中，又因为投射线与投影面的相对位置（垂直或倾斜）不同而分为：

（1）斜投影法　它是指投射线倾斜于投影面的平行投影法，见图 2-1b。由此法得到的图形，称为斜投影图（斜投影）。

（2）正投影法　它是指投射线垂直于投影面的平行投影法，见图 2-1c。由此法得到的图形，称为正投影图（正投影）。

由于正投影法所得到的正投影图，能真实地表达空间物体的形状和大小，作图也比较方便，因此国家标准 GB/T 17451—1998《技术制图　图样画法　视图》中明确规定，机件的图样按正投影法绘制。本书主要讨论的也是这种投影方法。

第二节　正投影的特性及三视图

一、正投影的特性

1. 实形性

当物体上的平面（或直线）与投影面平行时，其在投影面上的投影反映实形（或实长），这种投影特

性称为实形性。如图2-2a中，压板上的P平面平行于投影面H，它在H面上的投影p反映平面P的实形。

2. 积聚性

当物体上的平面（或柱面、或直线）与投影面垂直时，则其在投影面上的投影积聚为一条直线（或曲线，或一个点），这种投影特性称为积聚性。如图2-2b中，压板上的平面Q垂直于投影面H，它在H面上的投影q积聚为一直线。

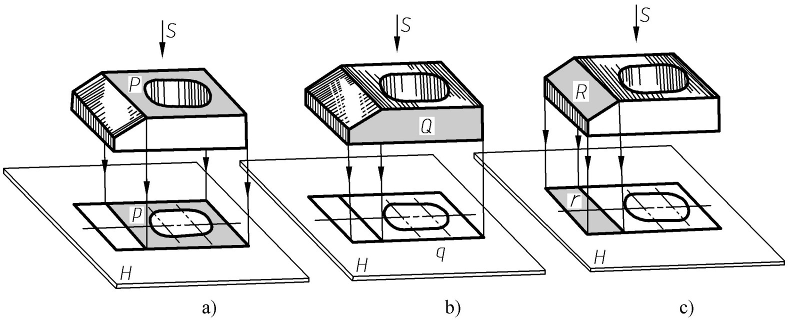


图2-2 平面的正投影特性

a）$P/\!/H$，有实形性 b）$Q\perp H$，有积聚性 c）R倾斜H，有类似性

3. 类似性

当物体上的平面（或直线）与投影面倾斜时，其投影的面积缩小了（或长度变短了），但投影的形状仍与原来形状类似，这种投影特性称为类似性。如图2-2c中，压板上的平面R倾斜于投影面H，它在H面上的投影r不反映实形，也不积聚成直线段，而是一个面积缩小而边数和顶点数不变的类似图形。

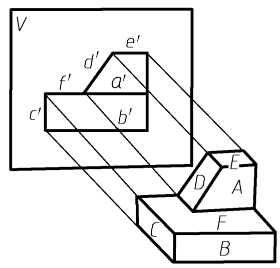


图2-3 撞块的正投影图——视图

二、视图

下面来讨论物体的正投影图。将物体（撞块）如图2-3放置，则物体上的A、B面平行于投影面V，其投影a'、b'反映A、B面的实形，而C、D、E、F等面均垂直于V面，所以它们在V面上的投影积聚成c'、d'、e'、f'等线段，这样就得到了物体在V面上的正投影图。这种正投影图又称为视图，这是因为假想人（观察者）的视线为正投影时的投射线，并由此观察得到的结果而得名。

三、三视图

上面已经用正投影法获得了撞块的一个视图，见图2-4a；如果把撞块上部的竖板向前移动一定距离，见图2-4b；或者把竖板斜切去一半，见图2-4c；显然，这三个不同的物体得到的是一个完全相同的视图，见图2-4。这就说明了一个视图是不能唯一地确定物体的结构形状的。

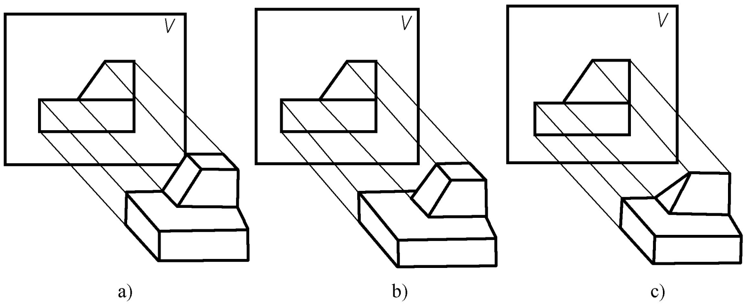


图2-4 物体的一个视图不能完整表达物体的空间结构形状

a）上下形体后表面平齐 b）上部形体前移 c）上部形体斜切去一半

1. 三投影面体系

为了唯一地确定物体的结构形状，需要采用多面投影和多个视图。

通常选用三个互相垂直相交的投影面，建立一个三投影面体系，见图2-5a。三个投影面分别称为：①正立投影面，简称正面，以 *V* 表示；②水平投影面，简称水平面，以 *H* 表示；③侧立投影面，简称侧面，以 *W* 表示。三个投影面之间的交线 *OX*、*OY*、*OZ* 称为投影轴。三根互相垂直的投影轴的交点 *O* 称为原点。

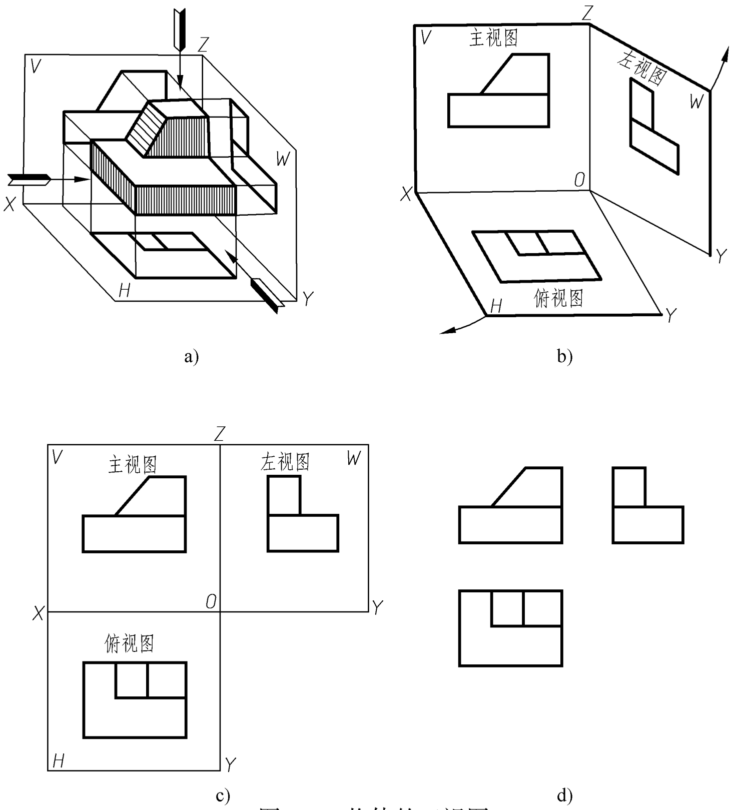


图2-5　物体的三视图

a）物体在三投影面体系中的投影　b）投影面的展开方法

c）投影面展开摊平后的三面视图　d）三视图

2. 三视图的形成

见图2-5a，将物体放在三投影面体系中，用正投影法分别向三个投影面投射，就得到了三个视图，称为三面视图，简称三视图。其中，由前向后投射在 *V* 面上得到的视图称为主视图；由上向下投射在 *H* 面上得到的视图称为俯视图；由左向右投射在 *W* 面上得到的视图称为左视图。这三个视图就能唯一地确定物体的结构形状了。

3. 展开方法

为了在同一张图面上画出三视图，以方便画图和看图，三个投影面必须展开、摊平在一个平面上，并规定；① 正面 *V* 不动；② 水平面 *H* 绕 *OX* 轴向下旋转90°；③ 侧面 *W* 绕 *OZ* 轴向右旋转90°，见图2-5b。这样 *V-H-W* 面就展开、摊平在一个平面上，见图2-5c。

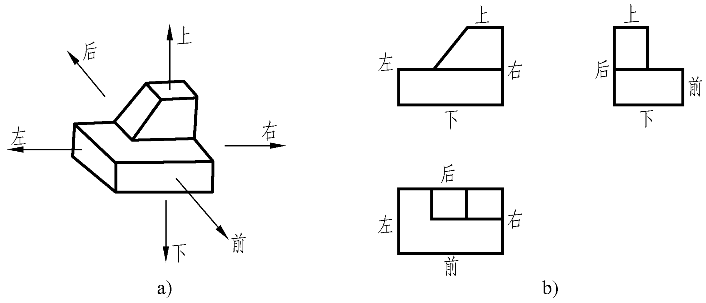


图2-6　三视图反映物体的位置关系

a）轴测图表示物体的位置关系　b）三视图反映物体的位置关系

三视图的配置关系是：俯视图在主视图的正下方，左视图在主视图的正右方。

在画图时，投影面边框线和投影轴

均不必画出，同时按上述方法展开时，即按投影关系配置视图时，也不需要标明视图的名称，最后得到的三视图见图 2-5d。

四、三视图反映物体的位置关系

物体有上下、左右、前后六个方向的位置关系，见图 2-6a。而每一个视图只能反映四个方向的位置关系，见图 2-6b。其中，主视图反映了物体左右、上下之间的位置关系，即反映了物体的长度和高度；俯视图反映了物体前后、左右之间的位置关系，即反映了物体的宽度和长度；左视图反映了物体前后、上下之间的位置关系，即反映了物体的宽度和高度。

由此可见，必须将三视图中任意两个视图组合起来，才能确定物体各部分的相对位置。其中在俯视图和左视图中，由于投影面 H、W 在展开时各旋转了 90°，所以前后位置容易搞错，需要特别注意。如图 2-6b 中，俯、左视图在靠近主视图的一侧表示物体的后面，而远离主视图的一侧，表示物体的前面。因此，在俯、左视图上量取宽度时，不但要注意量取的起点，还要注意量取的方向。

根据上述三视图所反映的物体的位置关系，由撞块的三视图可以判定，其直角梯形竖板位于长方体底板的上方、右方和后方。

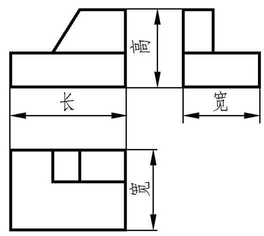


图 2-7　物体整体的“长对正、高平齐、宽相等”的投影关系

五、三视图之间的投影关系

由上面的讨论可知，在三视图中，见图 2-7：

主、俯视图同时反映了物体左右面之间的长度，即两视图的长相等；

主、左视图同时反映了物体上下面之间的高度，即两视图的高相等；

俯、左视图同时反映了物体前后面之间的宽度，即两视图的宽相等；

同时，三个视图又是按上述规定方法展开后得到的，所以，三个视图之间就一定保持这样的对应关系：

主、俯视图长对正；

主、左视图高平齐；

俯、左视图宽相等。

这个“三等”关系，就是三视图的投影规律。它对于物体的整体是如此，同时对于物体上的每个部分，甚至物体上的任何一点来说也都是适用的，见图 2-8、图 2-9。因此，它是画图和看图时必须遵循的规律。

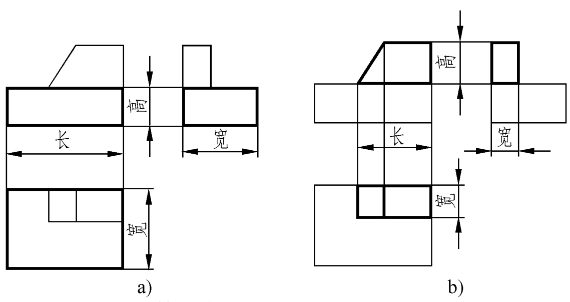


图 2-8　物体上每个部分的“长对正，高平齐、宽相等”的投影关系

a）底板部分　b）竖板部分

六、常见的回转体

一动线（直线、圆弧或其他曲线）绕一定直线回转一周后形成的曲面称为回转面。形成回转面的定直线称为轴线。由回转面或回转面与平面围成的实心立体称为回转体。

常见的回转体有：圆柱、圆锥、圆球和圆环等。今以圆柱体为例说明回转体三视图的画法。

1. 正圆柱体的形成

正圆柱体（简称圆柱体）是由圆柱曲面和上下两圆形平面所围成的，而圆柱曲面可以看成是由一直线绕与它平行的定直线（轴线）回转一周而成的，见图 2-10a。因此，圆柱曲面上的素线都是平行于轴线的直线。

2. 圆柱体的投影分析

图 2-10b 是轴线垂直于水平面的圆柱体的三视图。

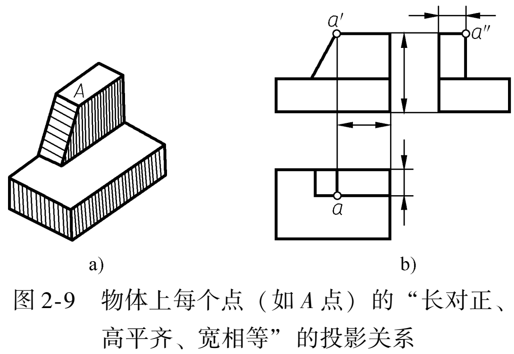


图 2-9　物体上每个点（如 A 点）的“长对正、高平齐、宽相等”的投影关系

它的俯视图是一个圆（作图时先画出），主、左视图是大小相同的矩形，需要注意的是：

在任何回转体的投影图中，必须用点画线画出轴线和圆的中心线。

从图 2-10b 中可以看出：水平投影这个圆是整个圆柱面的水平投影。因此，它具有积聚性。当然这个圆也是上、下两个水平底圆的水平投影，这时反映了实形性。

主视图上左、右两条轮廓线 $a'a_1'$、$c'c_1'$，是最左、最右两条素线 AA_1、CC_1 的正面投影，由此确定了圆柱体正面投影的范围，故称为正面的投影轮廓线。AA_1、CC_1 也是可见的前半个圆柱体与不可见的后半个圆柱体的分界线。在左视图上 AA_1、CC_1 的投影位于轴线处，不应画出，故轴线处仍为点画线。

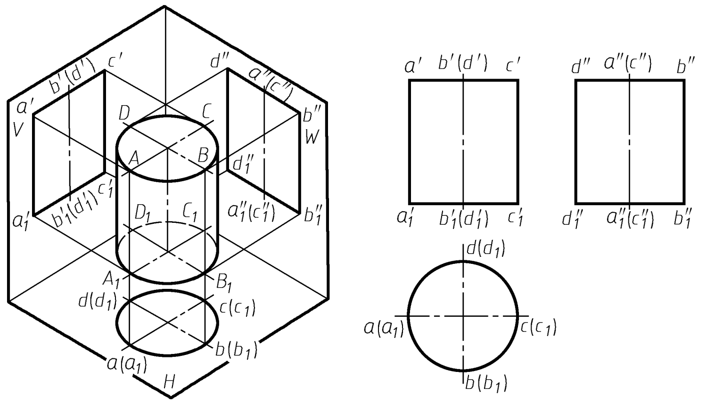


图 2-10　圆柱体的三视图

a）轴测图　b）三视图

同理，最前与最后两条素线 BB_1、DD_1 即为可见的左半个圆柱体与不可见的右半个圆柱体的分界线，对应的侧面投影 $b''b''_1$、$d''d''_1$ 确定了圆柱体侧面投影的范围，故称为侧面的投影轮廓线。BB_1、DD_1 在主视图上的投影位于轴线处，也不应画出。而圆柱体的上、下底面（圆）在主、左视图上均积聚成直径长的直线。

七、画三视图举例

下面以轴承架为例说明运用三视图之间的位置关系和投影关系画出三视图的方法和步骤。

1）形体分析，从几何角度看，任何一个物体大多可看成是由简单的棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、球、环等基本几何体组合而成的。在本课程中，常把由基本几何体按一定形式组合起来的物体称为组合体。图 2-11 所示的轴承架是由长方体的底板Ⅰ、半圆端竖板Ⅱ和三棱柱形肋板Ⅲ三个部分组成的。在底板上还有一个通槽和四个通孔，竖板半圆端轴心处也有一个通孔，见图 2-11。

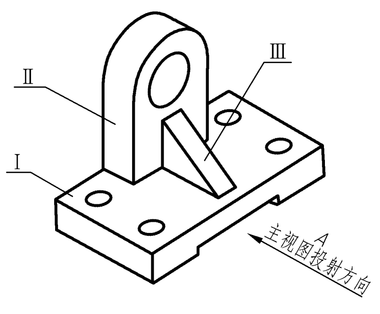


图 2-11　轴承架的组成及其主视图的投射方向

Ⅰ—底板　Ⅱ—半圆端竖板

Ⅲ—三棱柱形肋板

2）确定比例和图幅。

3）选择主视图的投射方向，并画出作图基准定位线。

见图 2-11，选择 A 方向作为主视图的投射方向，因为 A 方向能较多地反映轴承架的形状特征，并分别以左右对称面的投影作为长度方向的基准线，底板底面的投影作为高度方向的基准线，底板和竖板后表面的投影作为宽度方向的基准线，并画出这些基准线，见图 2-12a。

4）画底板的三视图，画图时要以垂直线保证主、俯视图长对正；以水平线保证主、左视图高平齐、在俯、左视图上量取底板的宽度，保证宽相等，见图 2-12b。

5）画竖板的三视图，画图时应先画出反映竖板正面实形的主视图。要先画出半圆和圆孔的中心线，然后画出半圆和圆。再按长对正、高平齐和宽相等分别画出俯视图和左视图。其中半圆端在左视图上除画出具有积聚性的前后表面外，还需画出半圆柱对侧面投影的投影轮廓线。同理，竖板上的圆孔在俯、左视图上也应画出各自的投影轮廓线，但均为不可见，故均应画成虚线，见图 2-12c。需要注意的是：竖板位于底板的后方，在俯、左视图上不能搞错。

6）画三棱柱形肋板的三视图，画法和步骤与4）、5）相似，见图2-12d。但也应注意肋板与底板、竖板间的相对位置。

7）画出底板上的凹槽及圆孔等细节结构，见图2-12e。

8）画完底稿后，应仔细检查、改正错误，然后擦去多余的作图线，并按线型要求加深图线，完成全图，见图2-12f。

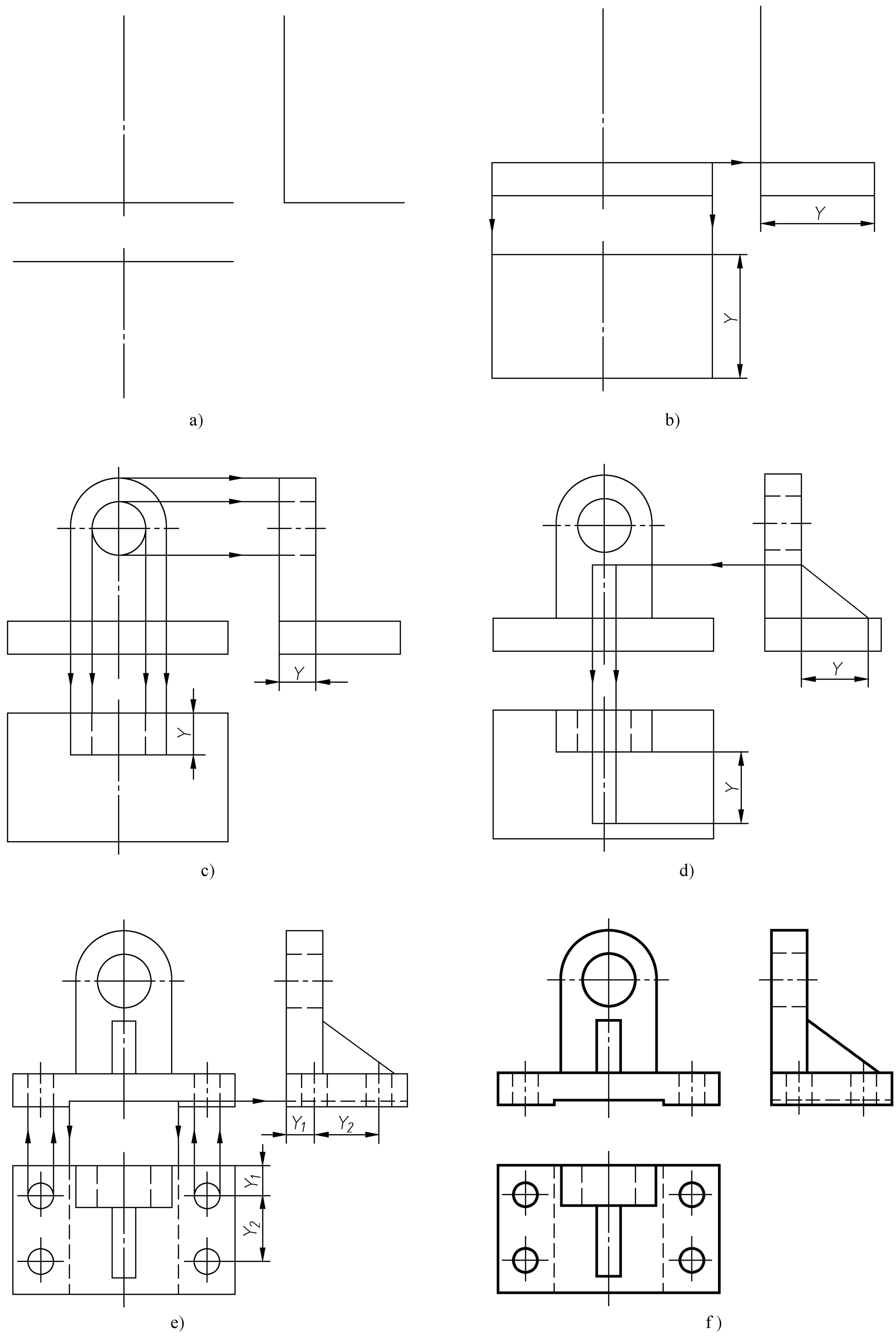


图2-12 轴承架的画图步骤

a）布置视图、画作图基准线 b）画底板 c）画半圆端竖板 d）画肋板

e）画底板上的凹槽及圆孔 f）校对、擦去作图线，加深图线

第三章　点、直线、平面的投影

点、直线、平面是构成空间物体的空间基本几何元素。为了迅速而又正确地画出物体的视图，或解决空间几何问题，还需进一步研究点、直线、平面的投影规律和投影特性。它是研究图示和图解问题的重要理论基础。

通过第二章的学习及画图实践，可以体会到画一个物体的三视图，实质上是画出围成物体的各个面的投影，而各个面是由各棱线围成的，各棱线是由两个端点决定的。

图 3-1 所示的三棱锥是由四个平面：$\triangle ABC$、$\triangle ACD$、$\triangle ABD$ 和 $\triangle BCD$ 围成的，也可看成是由 AB、AC、AD、BC、BD、CD 六条棱线组成的，还可认为是由 A、B、C、D 四个顶点所决定的。因此，下面对点、直线、平面的投影逐一进行讨论。

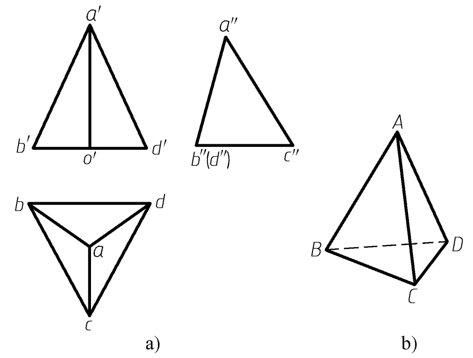


图 3-1　三棱锥的三视图和轴测图

a）三视图　b）轴测图

第一节　点 的 投 影

一、点在三投影面体系中的投影

通过第二章的讨论知道，通常把物体放在三投影面体系中进行投影。为此，下面先研究点在三投影面体系中的投影。

如图 3-2a 所示，设有一空间点 A，由点 A 分别向 H、V 和 W 面投影，可得到 A 点的水平投影 a、正面投影 a'和侧面投影 a''。图中每两条投射线分别确定一个平面，它们与三投影轴分别相交于 a_x、a_y 和 a_z，则以空间点 A，三个投影 a、a'和 a''，a_x、a_y、a_z 和原点 O 为顶点可构成一个长方体。

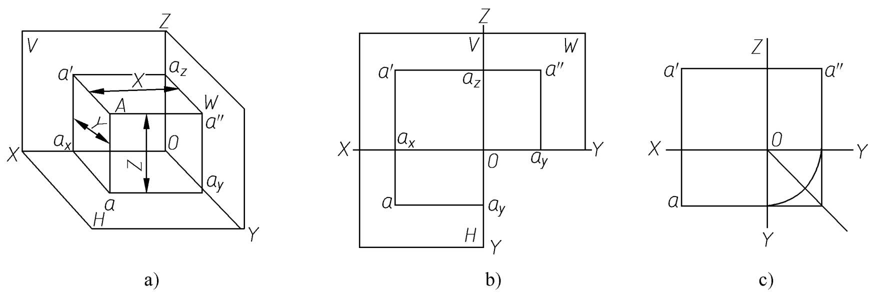


图 3-2　点在三投影面体系中的投影

a）三投影面体系中点的投影　b）展开图　c）投影图

将各投影面展开（展开方法见第二章）可得 A 点的投影图，见图 3-2b。在点的投影图中一般不画出投影面的边界线，也不标出投影面的名称和点 a_x、a_y、a_z 等，而只画出坐标轴 OX、OY、OZ 轴（简称 X、Y、Z 轴）及点的投影 a、a'、a''，见图 3-2c。

如果把三投影面体系看作空间直角坐标系，即把投影面 H、V、W 视为坐标面，投影轴 OX、OY、OZ 视为坐标轴，则空间点 A 分别到三个投影面的距离 Aa''、Aa'、Aa 可用 A 点的三个直角坐标 X_A、Y_A 和 Z_A 表示，记为 $A(X_A, Y_A, Z_A)$。同时 A 点的三个投影 a、a'、a''也可以用坐标来确定，水平投影 a

可由 X_A 和 Y_A 确定，反映了空间点 A 到 W 面和 V 面的距离 Aa''和 Aa'；正面投影 a'可由 X_A 和 Z_A 确定，反映了空间点 A 到 W 面和 H 面的距离 Aa''和 Aa；侧面投影 a''可由 Y_A 和 Z_A 确定，反映了空间点 A 到 V 面和 H 面的距离 Aa'和 Aa。

根据上述分析，可以得到点在三投影面体系中的投影规律如下：

1）点 A 的正面投影 a'和水平投影 a 具有相同的 X 坐标，其连线垂直于 OX 轴，即 $a'a \perp OX$，且有 $a'a_z = aa_y = Oa_x = X_A$。

2）点 A 的正面投影 a'和侧面投影 a''具有相同的 Z 坐标，其连线垂直于 OZ 轴，即 $a'a'' \perp OZ$，且有 $a'a_x = a''a_y = Oa_z = Z_A$。

3）点 A 的水平投影 a 到 OX 轴的距离，等于侧面投影 a''到 OZ 轴的距离，即 $aa_x = a''a_z = Oa_y = Y_A$。

上述点的投影规律与三视图的投影规律“长对正、高平齐、宽相等”是完全一致的。

综上所述，可以得出以下几点重要结论：

1）当给出一点的三个坐标，如 $A(X_A, Y_A, Z_A)$，即可确定该点的空间位置和唯一的一组投影 a、a'、a''，即可作出 A 点的投影图。

2）如已知 A 点的任意两个投影（a、a'或 a、a''或 a'、a''），均可确定点的三个坐标和点的空间位置，也就可以作出其投影图，即可求出点的第三投影。

3）在需要利用点的投影规律 $aa_x = a''a_z = Oa_y = Y_A$ 来作图时（如由 a、a'求 a''或由 a'、a''求 a），则可用分规量取 $aa_x = a''a_z = Oa_y = Y_A$；但通常是以原点 O 为圆心，Oa_y（Y_A）为半径作圆弧求得，或自 O 点作45°辅助线求得，见图3-2c。

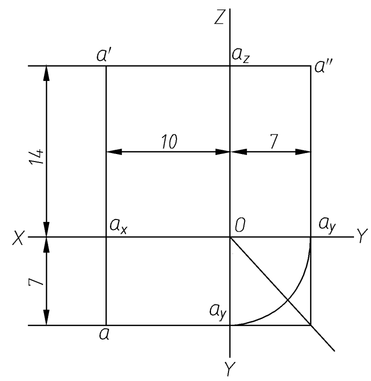


图3-3　由点的坐标作点的三面投影图

例3-1　已知空间点 $A(10, 7, 14)$，求它的三面投影图，见图3-3。

作图：

1）由原点 O 向左沿 OX 轴量取10mm得 a_x，过 a_x 作 OX 轴的垂线，在垂线上自 a_x 向前量取7mm得 a，向上量取14mm得 a'。

2）过 a'作 OZ 轴的垂线交 OZ 轴于 a_z，在垂线上自 a_z 向前量取7mm得 a''（a''也可由 a 通过作圆弧或45°辅助线求得）。

a、a'、a''即为 A 点的三面投影，可记为 A（a、a'、a''）。

例3-2　已知空间点 B 的正面投影 b'和水平投影 b，见图3-4a，求该点的侧面投影 b''。

分析：

由点的投影规律可知：$b'b'' \perp OZ$ 轴，所以 b''一定在过 b'且垂直于 OZ 轴的直线上，又因 b 到 OX 轴的距离 bb_x 等于 b''到 OZ 轴的距离 $b''b_z$，便可以求得 b''。

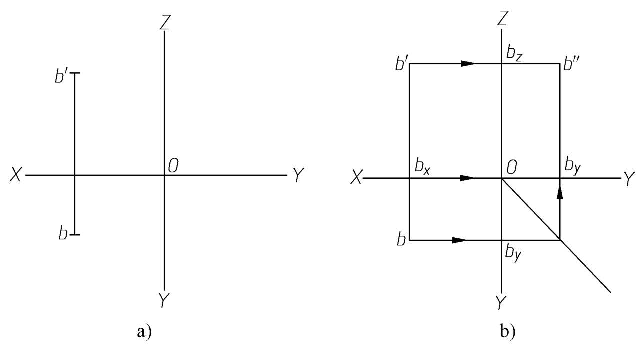


图3-4　由点的两个投影求第三投影

a）已知 B 的两个投影 b、b'　b）求 B 的侧面投影 b''

作图：

见图3-4b，由 b'作 OZ 轴的垂线与 OZ 轴交于 b_z，在此垂线上自 b_z 向前量取 $b_zb'' = bb_x$，即得 B 点的侧面投影 b''。（或由 b 通过作45°辅助线求得 b''。）

二、空间点的相对位置

1. 两点的相对位置

见图3-5a，A、B 两点对投影面的相对位置，也就确定了 A、B 两点各自的坐标，而 A、B 两点间的相对位置是由各方向的坐标差来决定的。

见图 3-5b，设 A 点和 B 点的坐标分别为（X_A，Y_A，Z_A）和（X_B，Y_B，Z_B），如以 A 点为基准点，当 B 点与它比较时，则 B 点对 A 点的一组坐标差为：

ΔX（X 轴方向坐标差）$= X_B - X_A$，决定两点左、右相对位置；

ΔY（Y 轴方向坐标差）$= Y_B - Y_A$，决定两点点前、后相对位置；

ΔZ（Z 轴方向坐标差）$= Z_B - Z_A$，决定两点上、下相对位置。

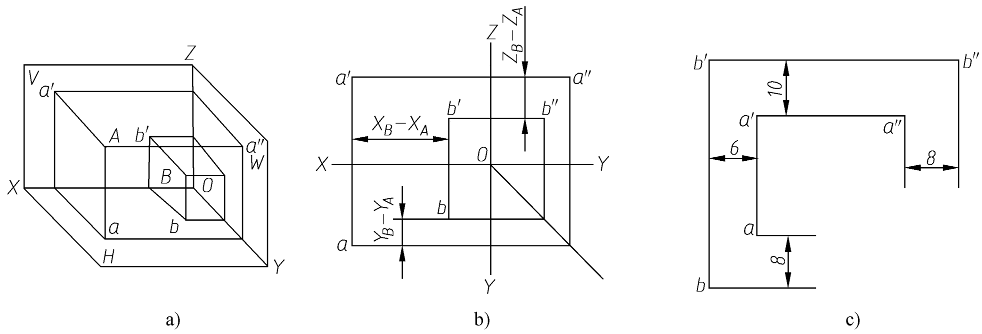


图 3-5　两点的相对位置

a）直观图　b）投影图　c）无轴投影图

以上一组坐标差（ΔX，ΔY，ΔZ）称为 B 点对 A 点的相对坐标，相对坐标的正、负以基准点为准，规定：

ΔX、ΔY、ΔZ 为正时，分别在基准点左方、前方、上方；

ΔX、ΔY、ΔZ 为负时，分别在基准点右方、后方、下方。

不难看出，两点的相对坐标只与其中基准点有关，而与投影面（反映在投影图上即为投影轴）的位置无关。因此，只要给出两点中任一点的投影，不必画出坐标轴就可根据它们的相对坐标作出另一点的投影。

例 3-3　已知 A 点的三面投影 a、a'、a''，见图 3-5c，并知 B 点在 A 点左方 6mm，在 A 点上方 10mm，在 A 点前方 8mm，求作 B 点的三面投影 b、b'、b''。

作图：

1）在 a、a'的左方 6mm 处作铅垂直线，在 a'、a''的上方 10mm 处作水平直线，所作两直线的交点即为 b'。

2）在 a 点的前方 8mm 处作水平直线，与过 b'点的铅垂直线的交点即为 b。

3）在 a''点的前方 8mm 处作铅垂直线，与过 b'点的水平直线的交点即为 b''。

即得到 B 点的三面投影 b、b'、b''。

图 3-5c 中省去了坐标轴，故称为无轴投影图。这就是在画物体的三视图时，一律不画坐标轴的理论依据。

2. 重影点和可见性

如果空间两点位于某一投影面的同一条垂直线上，则这两点在该投影面上的投影重合为一点，则此两点称为对该投影面的重影点。即某投影面的两个重影点，它们有两对相等的坐标，见图 3-6a，A、B 两点的 X、Z 坐标相等，而 Y 坐标不等，则它们的正面投影重合为一点，所以称为对 V 面的重影点。

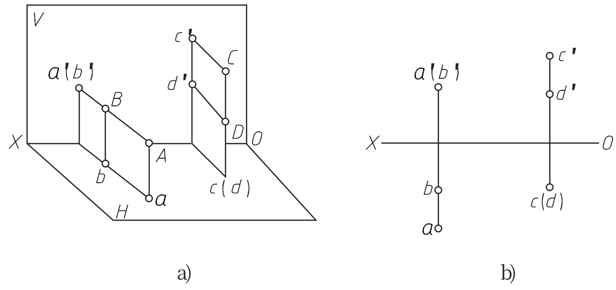


图 3-6　重影点及其可见性

a）直观图　b）投影图

重影点一般需要判别其可见性，如 A、B 两点向 V 面投影时，由于 A 点的 Y 坐标大于 B 点的 Y 坐标，即 A 点在 B 点的前方，沿着对 V 面的投射线方向 A 点遮住了 B 点，所以，称 A 点的 V 面投影为可

见，B 点的 V 面投影为不可见。其 V 面投影标记为 $a'(b')$，但其 H 面投影 a、b 均为可见，见图 3-6b。

同理，图 3-6 中 C、D 两点为对 H 面的重影点，也可作上述分析，其 H 面的投影标记为 $c(d)$，见图 3-6b。

总之，空间两点有两对坐标对应相等时，则两点对某一投影面重影。重影点的可见性由不等的那个坐标决定，坐标大者可见，小者不可见。

三、各种位置点的投影

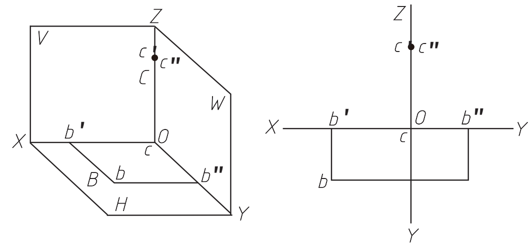
空间一点相对于三投影面体系，可能有以下几种位置关系：

1）当点的三个坐标（X，Y，Z）都为正值时，该点位于三投影面所限定的空间（第Ⅰ分角）内的一般位置，见图 3-2 中的 A 点。

2）当点的一个坐标为零时，该点是在某个投影面内，点的一个投影与自身重合，另两个投影在投影轴上，见图 3-7 中的 B 点。

3）点的两个坐标等于零时，该点位于某个投影轴上，点的两个投影与自身重合，第三个投影位于坐标原点 O 上，见图 3-7 中的 C 点。

4）点的三个坐标都为零时，该点位于坐标原点 O 上，它的三个投影均与自身重合。



a)　　b)

图 3-7　位于投影面内及投影轴上的点

a）直观图　b）投影图

第二节　直线的投影

一、直线的单面投影

如图 3-8 所示，过 AB 线上各点向 H 面作投射线，则这些投射线形成了一个垂直于 H 面的投射面，该投射面与 H 面的交线 ab，就是 AB 直线在 H 面上的投影。因此可以说，直线的投影一般情况下仍为直线，但当直线 CD 平行于投射线时，即 CD 线垂直于投影面时，其投影积聚为一点 $c(d)$。

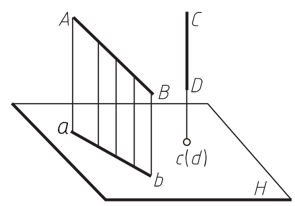
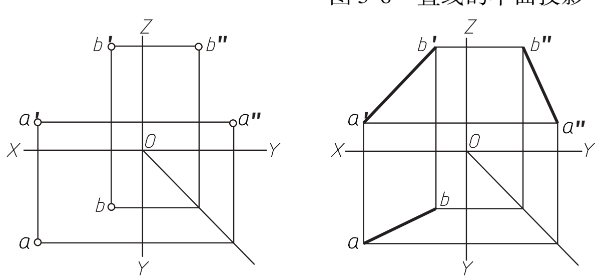


图 3-8　直线的单面投影

二、直线的确定

直线可由线上两点确定它的位置，也可由线上一点和直线的方向（如平行于另一条直线）来确定。而直线[㊀]的投影可由线上任意两点（一般取两端点）的投影来决定，即直线的投影可由线上两点在同一个投影面上的投影（同面投影）相连而得，所以要作出直线 AB 的三面投影，可先作出其两端点 A 和 B 的三面投影 a、a'、a'' 和 b、b'、b''，见图 3-9a，然后将其同面投影相连，即得 AB 直线的三面投影 ab、$a'b'$ 和 $a''b''$，见图 3-9b。

若只给出直线的任意两个投影（如 ab 和 $a'b'$），见图 3-10a，能否唯一地确定空间直线 AB 呢？



a)　　b)

图 3-9　两点决定一直线

a）直线 AB 两端点的三面投影　b）直线 AB 的三面投影

㊀　为了叙述方便，本书把直线段简称为直线。

根据点的两面投影可确定一点，并可求出第三投影的道理，由 a、a'及 b、b'可确定空间两点 A 和 B，又由于两点确定一直线，所以直线 AB 的空间位置是唯一确定的。由此即可在三投影面体系中，作出它的第三投影 $a''b''$，见图 3-10b。

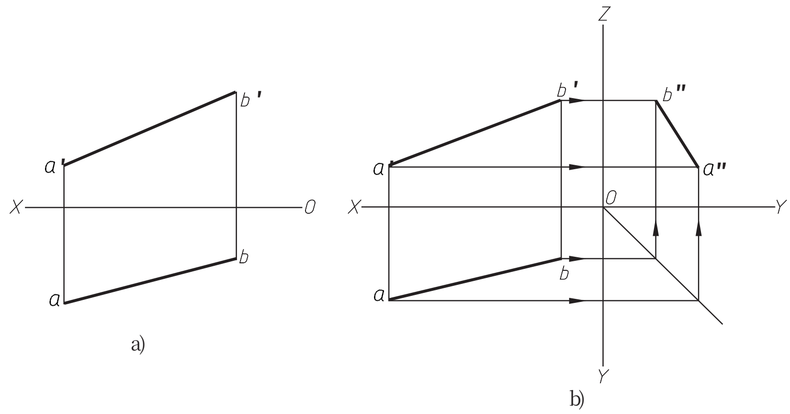


图 3-10　直线的两投影确定空间一直线

a）已知直线 AB 的水平、正面投影　b）求直线 AB 的侧面投影

三、直线对投影面的相对位置及其投影特性

根据空间直线对三个投影面的相对位置不同，直线可分为三类：

1. 投影面平行线

平行于某个投影面，同时倾斜于另外两个投影面的直线，称为投影面平行线。由于投影面的不同，投影面平行线又分为：

1）水平线——平行于水平投影面 H 的直线。

2）正平线——平行于正面投影面 V 的直线。

3）侧平线——平行于侧面投影面 W 的直线。

以水平线 AB 为例，见表 3-1，由于它平行于 H 面，即对 H 面的倾角 $\alpha=0$，故 AB 线上各点至 H 面的距离相等（Z 坐标相同）。因此，水平线具有下列投影特性：

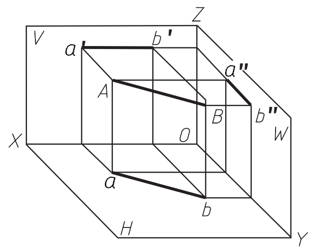
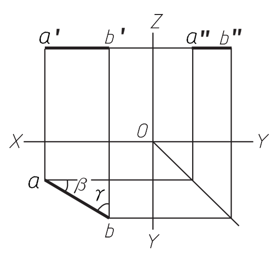
1）水平线的水平投影反映线段的实长，即 $ab=AB$。

2）水平线的正面投影 $a'b'$平行于 OX 轴，侧面投影 $a''b''$平行于 OY 轴。

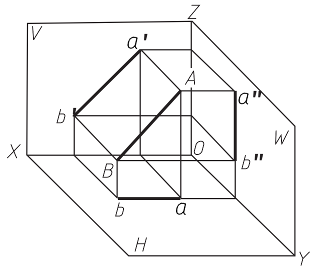
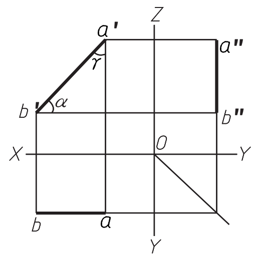
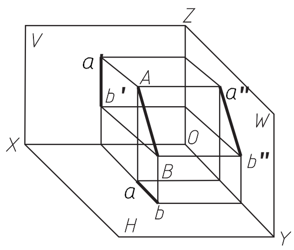
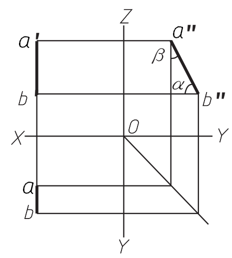
3）水平线的水平投影与 OX 轴的夹角等于该直线对 V 面的倾角 β，与 OY 轴的夹角等于该直线对 W 面的倾角 γ。

正平线和侧平线也有类似的投影特性，见表 3-1。

表 3-1　投影面平行线

名称	直　观　图	投　影　图	投 影 特 点
水平线（//H 面）			1. $ab=AB$ 2. $a'b'/\!/OX$，$a''b''/\!/OY$ 3. 反映 β、γ

（续）

名称	直　观　图	投　影　图	投影特点
正平线（//V 面）			1. $a'b'=AB$ 2. $ab/\!/OX, a''b''/\!/OZ$ 3. 反映 α、γ
侧平线（//W 面）			1. $a''b''=AB$ 2. $ab/\!/OY, a'b'/\!/OZ$ 3. 反映 α、β

总之，投影面平行线的投影特性是：

1）在其所平行的投影面上的投影反映实长，并且它与两投影轴的夹角就是直线与相应两个投影面的倾角。

2）其余两个投影都小于空间线段的实长，而且与相应的投影轴平行。

这些投影特性也是识别投影面平行线的依据。

2. 投影面垂直线

垂直于某个投影面的直线，称为投影面垂直线。

因为 V-H-W 三投影面互相垂直相交，所以，垂直于一个投影面的直线必同时平行于另外两个投影面。由于投影面的不同，投影面垂直线又分为：

1）铅垂线——垂直于水平投影面 H 的直线。

2）正垂线——垂直于正面投影面 V 的直线。

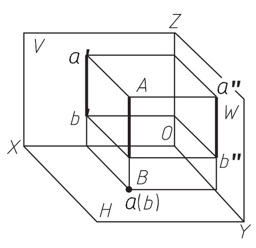
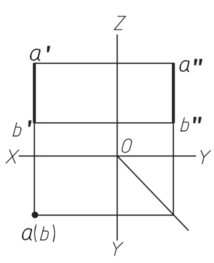
3）侧垂线——垂直于侧面投影面 W 的直线。

以铅垂线 AB 为例，见表 3-2，由于它垂直于 H 面，则同时必平行于 V 面和 W 面。因此，铅垂线具有下列投影特性：

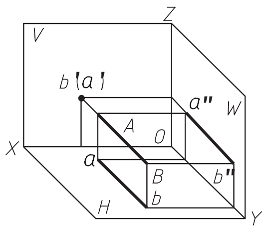
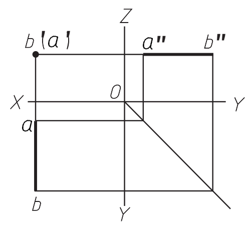
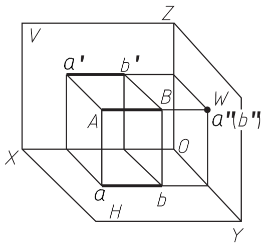
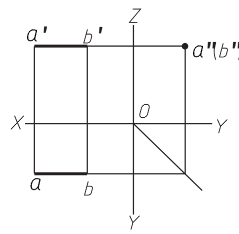
1）铅垂线的水平投影积聚成一点，即 $a(b)$。

2）在另外两个投影面上的投影，都反映线段的实长，即 $a'b'=a''b''=AB$。且垂直于相应的投影轴，即 $a'b'\perp OX$ 轴，$a''b''\perp OY$ 轴。

表 3-2　投影面垂直线

名称	直　观　图	投　影　图	投影特点
铅垂线（⊥H 面）			1. ab 成为一点，有积聚性 2. $a'b'\perp OX, a''b''\perp OY, a'b'=a''b''=AB$

（续）

名称	直　观　图	投　影　图	投 影 特 点
正垂线（⊥V面）			1. $a'b'$成为一点，有积聚性 2. $ab \perp OX, a''b'' \perp OZ, ab = a''b'' = AB$
侧垂线（⊥W面）			1. $a''b''$成为一点，有积聚性 2. $ab \perp OY, a'b' \perp OZ, ab = a'b' = AB$

正垂线和侧垂线具有类似的投影特性，见表 3-2。

总之，投影面垂直线的投影特性是：

1）在直线所垂直的投影面上，其投影积聚为一点。

2）在另外两个投影面上的投影，垂直于相应的投影轴，且反映线段的实长。

这些投影特性，尤其是一个投影积聚为一点，是识别投影面垂直线的依据。

投影面平行线和投影面垂直线统称为特殊位置直线。

应该注意以下几点：

1）投影面平行线与投影面垂直线两者的区别。例如铅垂线垂直于 H 面，它必平行于 V、W 面，但此直线不能称为正平线或侧平线。

2）位于某一个投影面内的直线为投影面平行线（或投影面垂直线）的特殊情况。它具有投影面平行线（或投影面垂直线）的投影特性，它的投影特性是：必有一个投影与直线本身重合，另外两个投影在投影轴上。如图 3-11 所示为位于 H 面内的水平线 AB 的投影。图 3-12 所示则为位于 V 面内的铅垂线 CD 的投影。

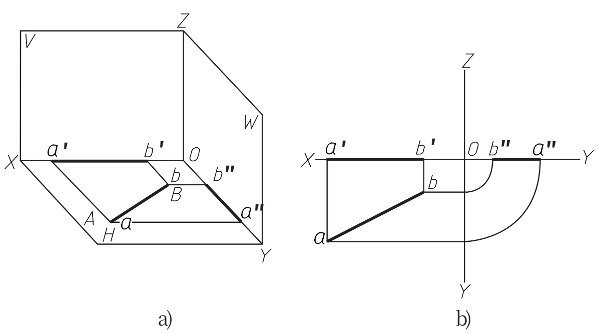


图 3-11　在 H 面内的水平线的投影

a）直观图　b）投影图

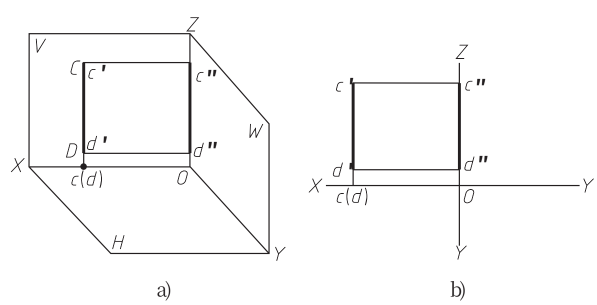


图 3-12　在 V 面内的铅垂线的投影

a）直观图　b）投影图

3）直线在投影轴上是投影面垂直线的特殊情况。它的投影特性是：必有两个投影与直线本身重合，另一个投影积聚在坐标原点上，见图 3-13。

3. 一般位置直线

倾斜于所有投影面的直线称为一般位置直线。空间直线与投影面之间的夹角称为直线对投影面的倾

角，直线 AB 对 H、V 和 W 面的倾角分别用 α、β 和 γ 表示，见图 3-14a。它们是直线本身和直线在各投影面上的投影之间的夹角。如倾角 α 是直线 AB 与水平投影 ab 之间的夹角。

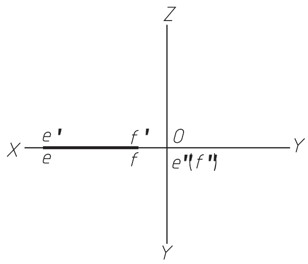
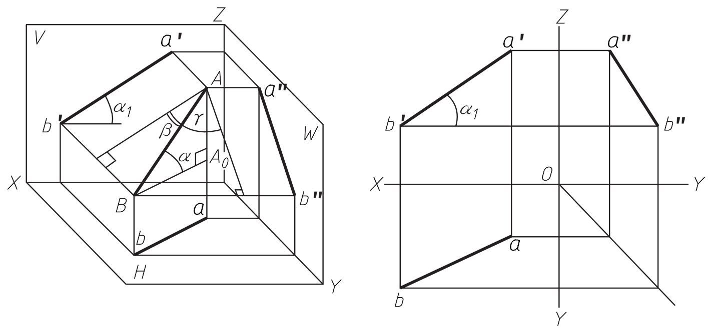


图 3-13　在 OX 轴上的直线的投影



a)　　b)

图 3-14　一般位置直线的投影

a）直观图　b）投影图

需要注意的是：一般位置直线的投影与投影轴之间的夹角，不反映 α、β 和 γ，见图 3-14b 中 α_1 不等于 α。

由于一般位置直线 AB 的两个端点 A 和 B 到各投影面的距离都不相等，所以它们的三个投影 ab、$a'b'$ 和 $a''b''$ 都与投影轴倾斜。这时，$ab = AB\cos\alpha$；$a'b' = AB\cos\beta$；$a''b'' = AB\cos\gamma$。因为 α、β 和 γ 都不等于零，所以三个投影的长度都小于线段的实长。

由此可知，一般位置直线的投影特性为：

1）直线的三个投影都倾斜于投影轴，且都小于线段的实长。

2）直线的三个投影与投影轴的夹角，均不反映空间直线与投影面倾角的真实大小。

四、一般位置直线的实长及其对投影面的倾角

如上所述，一般位置直线段的投影不能反映线段的实长及其对投影面的倾角，但是一般位置直线段的两个投影已完全确定它的空间位置和线段上各点间的相对位置。因此，可在投影图上根据线段的投影求出线段的实长及对各投影面的倾角 α、β 和 γ。

下面介绍用图解法——直角三角形法求出该线段的实长和对各投影面的倾角。

1. 直角三角形法的作图原理

图 3-14a 表示三投影面体系中一般位置直线 AB 与其投影间的几何关系。

图中 AB 直线向 H 面投影形成投射平面 $ABba$，由此平面内 B 点作水平投影 ab 的平行线交 Aa 于 A_0，即得直角三角形 ABA_0。该直角三角形的一条直角边 $BA_0 = ab$，另一条直角边 $AA_0 = Aa - Bb = Z_A - Z_B = \Delta Z$（$AB$ 线段两端点的 Z 坐标差）。由于两直角边的长度在投影图上均为已知，因此，可以作出这个直角三角形，从而求得空间线段 AB 的实长及其对 H 面的倾角 α 的大小。

2. 直角三角形法的作图方法

直角三角形可在投影图上或任何空白位置处作出，但为了作图简便、准确，通常直接在已有的投影图上，即在直线 AB 的投影上或其坐标差上进行作图，见图 3-15。如求线段 AB 的实长及对 H 面的倾角 α 的作图步骤如下：

1）直接以线段 AB 的水平投影 ab 为一直角边。

2）以线段的两端点 A 和 B 的坐标差 ΔZ 为另一直角

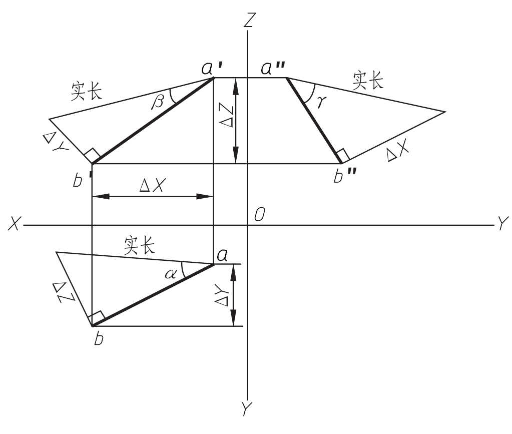


图 3-15　直角三角形法

边（该坐标差可由线段的正面投影或侧面投影上量得）。

3）所作直角三角形的斜边，即为线段 AB 的实长。斜边与水平投影 ab 的夹角为线段 AB 对水平投影面 H 的倾角 α。

同理，由 AB 的正面投影 $a'b'$ 和坐标差 ΔY 为两直角边的直角三角形，可求出线段 AB 的实长和对 V 面的倾角 β。

由侧面投影 $a''b''$ 和坐标差 ΔX 为两直角边的直角三角形，可求出线段 AB 的实长和对 W 面的倾角 γ。

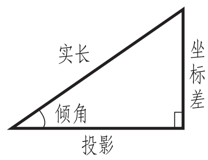


图 3-16　“直角三角形法”中四个参数的对应关系

应该注意以下几点：

1）直角三角形中四个参数之间的对应关系见图 3-16。要注意线段对投影面的倾角是线段的实长与其投影之间所夹的那个锐角。

2）构成直角三角形的四个参数中，已知任意两个参数就可以作出此直角三角形，并可求得其他两个参数。

3）利用线段 AB 的任何一个投影和相应的坐标差，均能求得线段的实长，但求得的倾角不同，分别为 α、β 和 γ。

例 3-4　已知直线 AB 的水平投影 ab，点 A 的正面投影 a' 及 AB 对 H 面的倾角 $\alpha=30°$，见图 3-17a，求 $a'b'$。

分析：

本例中求 $a'b'$，由于 a' 为已知，所以只需求出 b'；又因为 b 为已知，所以 b' 必在过 b 点所作 OX 轴的垂线上。因此，只需求出 a'、b' 两点的坐标差 ΔZ，即可定出 b' 点的位置。而 ΔZ 可从已知的 ab 和 $\alpha=30°$ 作出的直角三角形中求得。

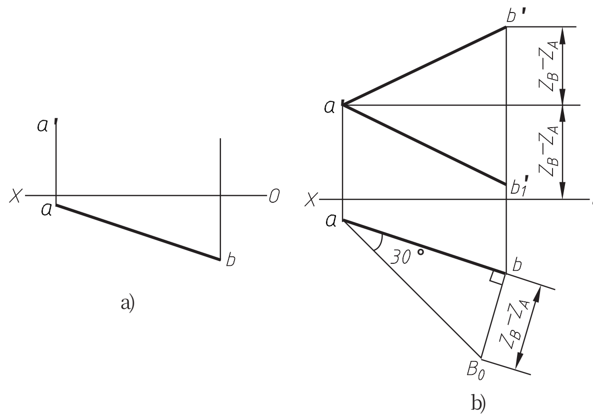


图 3-17　用直角三角形法求线段的投影
a）给题　b）求 $a'b'$

作图：见图 3-17b。

1）由已知 ab 和 $\alpha=30°$ 作直角三角形 abB_0，则 $bB_0=Z_B-Z_A=\Delta Z$。

2）由 a' 作 OX 轴平行线，由 b 作 OX 轴的垂直线，并由两直线的交点向上量取 bB_0，即得 B 点的正面投影 b'。

3）连线 $a'b'$ 即为所求。

从图中知：由于 bB_0 也可向下量取而得 b_1'，所以 $a'b_1'$ 也为所求，故本题有两解。

五、直线与点的相对位置

直线与点的相对位置有两种情况，即点在直线上和点在直线外（即点不在直线上）。

如图 3-18a 所示，K 点在直线 AB 上，由 K 点向 V 面所作的投射线 Kk' 必在投射面 $ABb'a'$ 上，Kk' 与 V 面的交点 k' 也必然在 $ABb'a'$ 与 V 面的交线 $a'b'$ 上，亦即 K 点的正面投影 k' 在 AB 线的正面投影 $a'b'$ 上。

同理，对于其他两投影：k 必在 ab 上，k'' 必在 $a''b''$ 上。

由于投射线 $Aa'/\!/Kk'/\!/Bb'$，$Aa/\!/Kk/\!/Bb$，$Aa''/\!/Kk''/\!/Bb''$，所以

$$\frac{AK}{KB}=\frac{a'k'}{k'b'}=\frac{ak}{kb}=\frac{a''k''}{k''b''}$$

由此可见，如果点在直线上，则点的各个投影必在直线的同面投影上，且点分割直线长度之比等于点的投影分割直线投影长度之比。反之，如果点的各投影均在直线的同面投影上，且分直线各投影长度之比相同，则该点必在此直线上，见图 3-18b。

在投影图上判别点是否在直线上，一般只需观察两个投影即可直接确定。但当直线为投影面平行

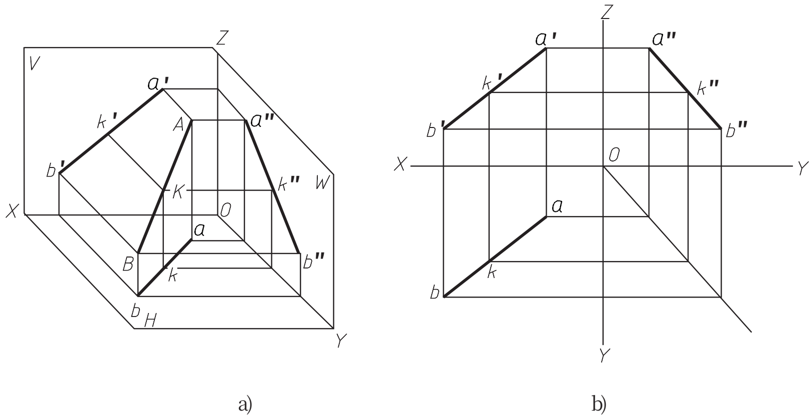


图 3-18　直线上点的投影

a）直观图　b）投影图

线，且给出的两个投影又都平行于投影轴时，则需观察第三个投影确定，还可通过检查分点的投影分直线的同面投影长度之比是否相同的比例法确定。如图 3-19a 所示，C 点的水平投影 c 和正面投影 c'，虽都在侧平线 AB 的两面投影上，但要判定 C 点是否在直线 AB 上，尚需作出其侧面投影，如图 3-19b 所示。由于 c''不在 $a''b''$上，所以 C 点不在直线 AB 上。或者也可如图 3-19c 所示，过 a 点作任意一直线，并在该直线上截取 $aC_1 = a'c'$，$C_1B_1 = c'b'$，然后连接 bB_1，再过 C_1 点作 bB_1 的平行线交 ab 于 c_1 点，则由于 c 与 c_1 点不重合，即 $ac:cb \neq a'c':c'b'$，因此也可判定 C 点不在直线 AB 上。

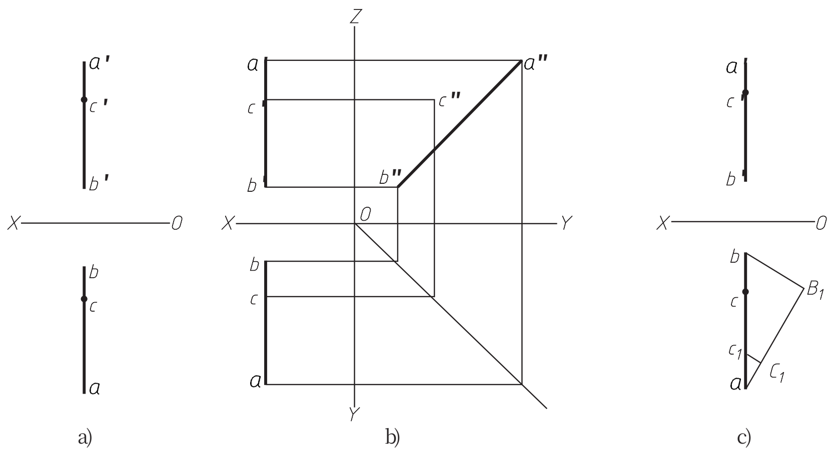


图 3-19　点不在直线上

a）给题　b）用第三投影判定　c）用比例法判定

例 3-5　已知线段 AB 的投影图，见图 3-20a，试将 AB 线分成 2∶3 两段，求分点 C 的投影。

作图：见图 3-20b。

1）自 AB 线的水平投影 ab 的 a 点任作一辅助线 aD_0。

2）在该辅助线上任取 5 等分，得端点 B_0。

3）连接 B_0b。

4）在 aB_0 上取等分点 C_0，满足 $aC_0 : C_0B_0 = AC : CB = 2:3$。

5）过 C_0 点作 B_0b 的平行线交 ab 于 c 点。

6）由 c 点作 OX 轴的垂线交 $a'b'$于 c'点。

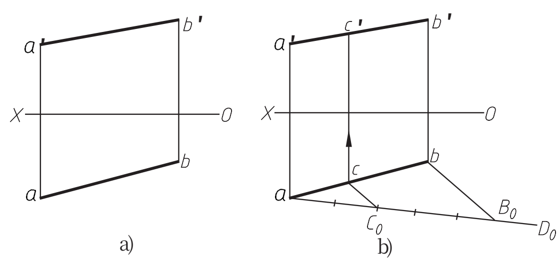


图 3-20　位于直线上点的投影

a）给题　b）求分点 C 的投影

则 C（c、c'）即为所求。

例 3-6　已知直线 AB 的两个投影 ab 和 $a'b'$，见图 3-21a，试在该直线上取一点 C，使 $AC=15\text{mm}$，求作 C 点的投影 c 和 c'。

分析：

必须先用直角三角形法求得 AB 线的实长，方可在实长上截取 15mm 得分点 C，再根据 C 点分直线 AB 所成线段之比等于分投影之比和 C 点的投影一定在 AB 直线的同面投影上，即可求得 C 点的投影 c 和 c'。

作图：见图 3-21b。

1）以 ab 和坐标差 ΔZ 为两直角边作直角三角形 abB_0，得 AB 的实长 aB_0。

2）在 aB_0 上由 a 点起量取 15mm 得 C_0 点。

3）过 C_0 点作 bB_0 的平行线交 ab 于 c 点。

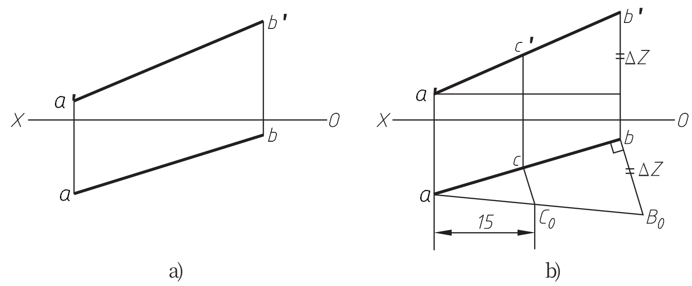


图 3-21　直线上取分点

a）给题　b）求分点 C 的投影

4）由 c 点作 OX 轴的垂线交 $a'b'$ 于 c' 点，则 C（c、c'）即为所求。

本题还可以由 $a'b'$ 和 ΔY 为两直角边作直角三角形进行求解，作法相似，请读者自行分析。

六、两直线的相对位置

空间两直线的相对位置有：平行、相交和交叉三种情况。其中，平行、相交两直线为同面两直线，而交叉两直线为异面两直线。

1. 平行两直线

平行两直线的投影特性为：两直线的三组同面投影必互相平行，且平行两直线段长度之比等于其投影长度之比，如图 3-22a 所示。因为两条平行的直线，向同一投影面投射时，构成两个互相平行的投射平面，所以与投影面的交线（即两直线的投影）也必互相平行。即 $AB /\!/ CD$，则 $ab /\!/ cd$、$a'b' /\!/ c'd'$、$a''b'' /\!/ c''d''$，且 $ab/cd=a'b'/c'd'=a''b''/c''d''=AB/CD$，见图 3-22b。反之，如果两直线的各同面投影互相平行且投影比相等，则此两直线在空间一定互相平行。

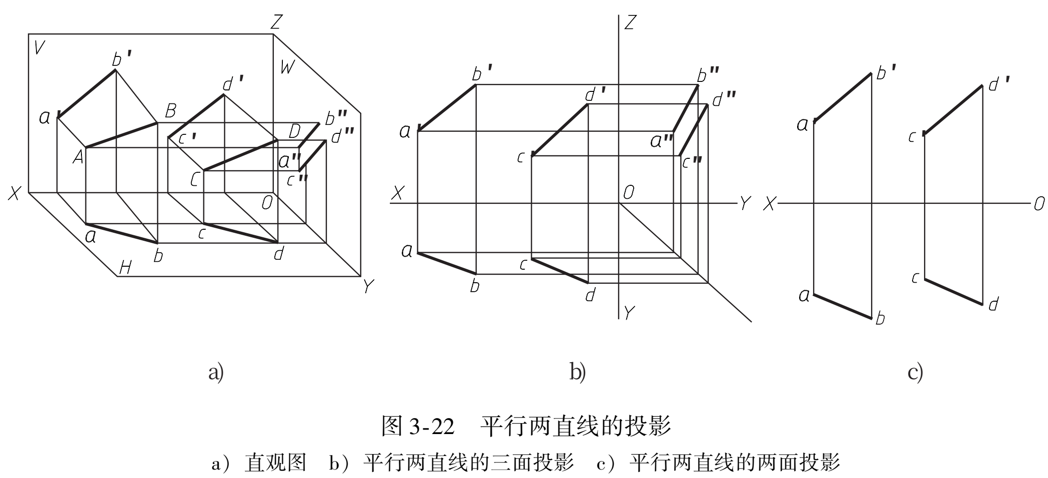
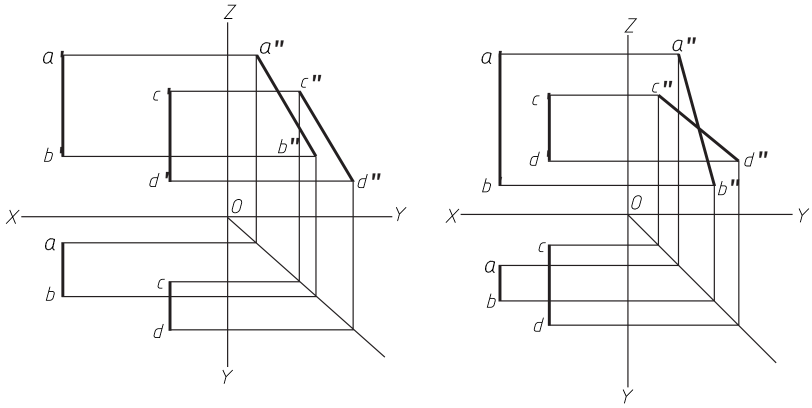


图 3-22　平行两直线的投影

a）直观图　b）平行两直线的三面投影　c）平行两直线的两面投影

在投影图上判别两直线是否平行时，若两直线处于一般位置，则只需检查两直线的任何两组同面投影是否互相平行即可确定，如图 3-22c 中 $a'b' /\!/ c'd'$、$ab /\!/ cd$，则 $AB /\!/ CD$。

若两直线同时平行于某一投影面时，还必须检查两直线在所平行的那个投影面上的投影是否互相平行来确定，或者利用同面投影长度之比判断 。如图 3-23a 所示，AB、CD 为两条侧平线，其投影 $a'b' /\!/$



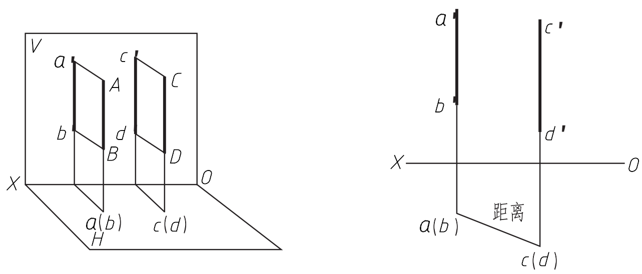
a)　　b)

图 3-23　两条侧平线的投影

a）两直线平行　b）两直线交叉

$c'd'$、$ab /\!/ cd$，检查侧面投影 $a''b'' /\!/ c''d''$，则 $AB /\!/ CD$。而在图 3-23b 中，$a'b' /\!/ c'd'$、$ab /\!/ cd$，但 $a''b''$不平行于$c''d''$，所以 AB 不平行于 CD；也可根据 $a'b'/c'd' \neq ab/cd$ 判定直线 AB 和 CD 不平行。

另外，还要指出，互相平行的两直线，如果垂直于同一投影面（是同一投影面的两条投影面垂直线），则它们的两组投影互相平行（且平行于相应的投影轴），而在两直线与之垂直的投影面上的投影积聚为两点，两点之间的距离反映两直线在空间的真实距离，见图 3-24。



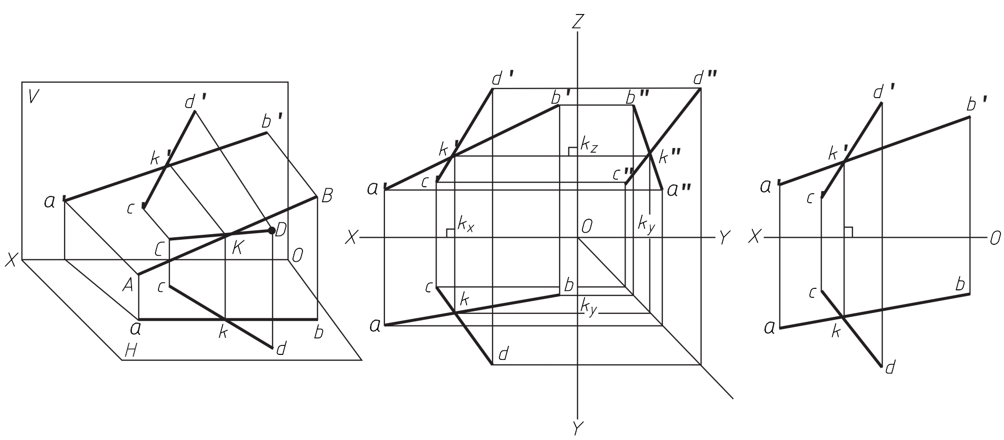
a)　　b)

图 3-24　两条铅垂线的投影

2. 相交两直线

如图 3-25a 所示，AB、CD 两直线相交于 K 点，即 K 点为 AB、CD 的共有点，当 AB、CD 向 H、V、W 面投影时（图中未画出 W 面），其投影 ab 和 cd、$a'b'$和 $c'd'$、$a''b''$和 $c''d''$的交点 k、k'和 k''必是交点 K 的三面投影，见图 3-25b。故相交两直线的投影特性是：

1）两直线的同面投影必相交，且交点必符合点的投影规律，即 $kk' \perp OX$ 轴、$k'k'' \perp OZ$ 轴、$kk_x = k''k_z$。



a)　　b)　　c)

图 3-25　相交两直线

a）直观图　b）相交两直线的三面投影　c）相交两直线的两面投影

2）交点 K 将两直线 AB、CD 分别分成具有不同定比的线段，在各自投影上也分成相应的同一比例；反之，如果两直线的各同面投影都相交，且各投影的交点符合点的投影规律，则此两直线在空间必相交。

一般情况下，判别两直线在空间是否相交，根据两组投影就可以直接判断，见图 3-25c。但如果两直线中有一条直线平行于某一投影面时，见图 3-26a，CD 线为一般位置直线，AB 线为侧平线，这时仅根据两直线的正面投影和水平投影均相交，还不能确定两直线是否相交。此时可用以下两种方法加以判断：

1）利用第三投影法，见图 3-26b，求出 AB、CD 两直线的侧面投影的交点 k''，由于 $k'k''$的连线不垂直于 OZ 轴，所以两直线 AB 和 CD 不相交。

2）利用定比关系法，见图 3-26c，以 k'分割 $a'b'$的同样比例分割 ab 求出 k_1，由于 k_1 与 k 不重合，同样可以断定 AB、CD 两直线不相交。

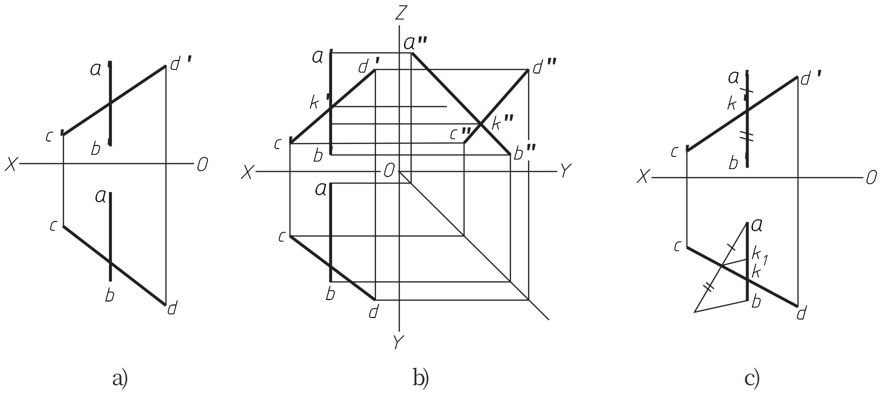


图 3-26　判别两直线是否相交

a）给题　b）用第三投影法判定　c）用定比关系法判定

3. 交叉两直线

在空间既不平行、也不相交的两直线称为交叉两直线，即为异面两直线。

显然，交叉两直线的投影不具备平行或相交两直线的投影特点。

（1）交叉两直线的投影特性

1）交叉两直线可能有一组、两组，甚至三组同面投影相交，但是，它们的交点绝不会符合空间同一点的投影规律，两直线投影的交点实际上是两直线对投影面的重影点，见图 3-23b、图 3-26b、图 3-27b。

2）交叉两直线可能有一组或两组同面投影互相平行，见图 3-23b、图 3-27c，但是交叉两直线的三组同面投影绝不会同时都平行。

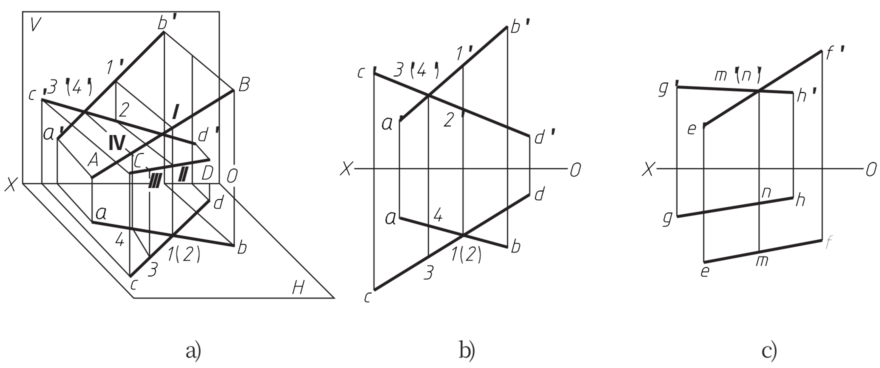


图 3-27　交叉两直线

a）直观图　b）两组同面投影相交　c）同面投影一组相交一组平行

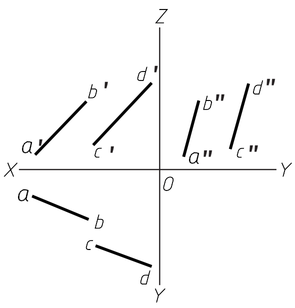
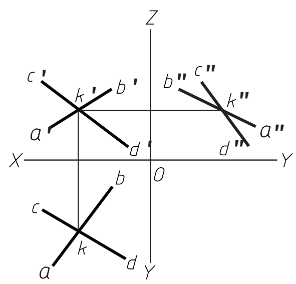
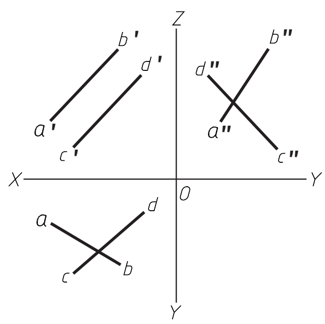
因此，若两直线的投影既不符合平行两直线的投影特性，又不符合相交两直线的投影特性，则必是交叉两直线。

（2）重影点和可见性　从图3-23b、图3-26b、图3-27b、图3-27c可以看出，交叉两直线虽然在空间不相交，但在其投影图上往往出现交点。如图3-27b中水平投影 ab 和 cd 的交点1(2）是 AB 直线上的Ⅰ点与 CD 直线上的Ⅱ点对水平投影的重影点，同理，$3'(4')$ 是位于 CD 直线上的Ⅲ点与位于 AB 直线上的Ⅳ点对正面投影的重影点。根据重影点可见性的判别方法（见本章第一节）可知，在图3-27b的水平投影中，位于 AB 线上的Ⅰ点可见，位于 CD 线上的Ⅱ点不可见。正面投影中，位于 CD 线上的Ⅲ点可见，位于 AB 线上的Ⅳ点不可见。因此，投影分别标记为1(2）和 $3'(4')$。

在图3-27c的正面投影中，位于 EF 线上的 M 点可见，位于 GH 线上的 N 点不可见，故标记为 $m'(n')$；水平投影中，M、N 两点都可见。

以上判别可见性的方法也是直线与平面、平面与平面相交时判别可见性的重要依据。归纳起来，两直线的相对位置及其投影特性，见表3-3。

表3-3　两直线的相对位置及其投影特性

两直线相对位置	两直线平行	两直线相交	两直线交叉
投影图			
投影特性	若两直线平行，则它们的同面投影也互相平行	若两直线相交，则它们的同面投影也必相交，且交点的投影符合点的投影规律	两直线交叉，它们的三组同面投影不可能都平行；若三组同面投影都相交，其交点不可能符合点的投影规律

这里必须指出：

1）根据投影图判别两直线的相对位置时，若两直线都处于一般位置，则只需检查它们的任意两组同面投影即可确定；若两直线中有一条是投影面平行线，则需检查该直线所平行的那个投影面上的投影方可确定。

2）两交叉直线的同面投影若相交，其交点并非是一个点的投影，而是分别在两条直线上的两个点的重影，其可见性需从另一组同面投影上判别，坐标大者可见，小者不可见。

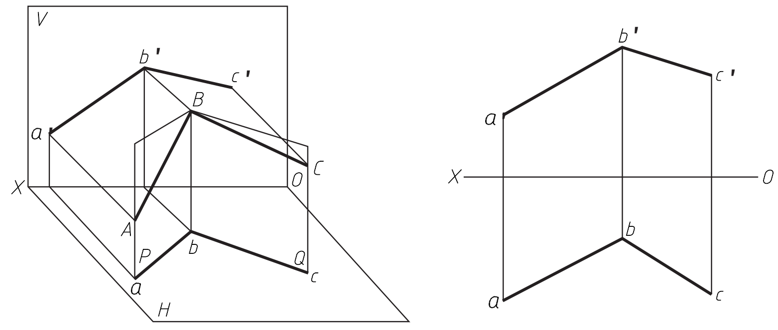
七、直角的投影

一般来说，要使两相交直线（或两交叉直线）之间的夹角，不变形地投射在某一投影面上，必须使此角的两边都平行于该投影面。

当相交两直线都不平行于同一投影面时，见图3-28a，平面 P 和 Q 垂直于 H 面，并与 H 面相交于 ab、bc，在平面 P 和 Q 内分别任意取直线 AB 和 BC 不平行于 H 面，由于 AB 和 BC 是任意选取的，因此，$\angle ABC$ 可大可小，但其水平投影都是 $\angle abc$，可见 $\angle ABC$ 一般不等于 $\angle abc$。这就是说，如果相交两直线都不平行于某一投影面，则此两直线所成的平面角在该投影面上的投影，一般都不等于平面角的真实大小。但是，对于直角，只要有一边平行于某一投影面，则此直角在该投影面上的投影仍为直角。

1. 垂直相交两直线的投影——直角投影定理

在图3-29a中，设相交两直线 $AB \perp BC$，且 $BC /\!/ H$ 面，因 $BC \perp AB$，$BC \perp Bb$，所以 BC 垂直于由相



a)　　　　b)

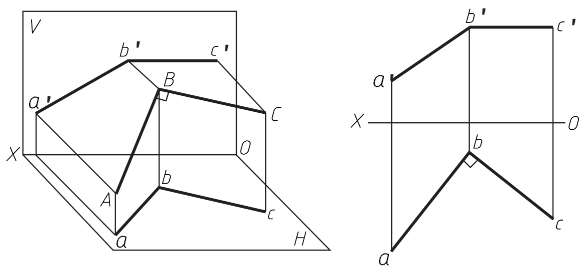
图 3-28　相交两直线都不平行于同一投影面

a）直观图　b）投影图

交两直线 AB 和 Bb 所决定的平面 $ABba$，又因 $BC /\!/ H$ 面，故 $bc /\!/ BC$，则 $bc \perp ABba$ 平面，也就垂直于平面内过垂足 b 的两相交直线 Bb 和 ab，所以 $bc \perp ab$，即 $\angle abc = 90°$，反映 $\angle ABC$ 的实角，见图 3-29b。

定理：若垂直相交的两直线中有一条直线平行于某一投影面时，则此两直线在该投影面上的投影仍然互相垂直（成直角）。

反之，若相交两直线在某一投影面上的投影互相垂直，且有一条直线平行于该投影面时，则此两直线在空间也一定互相垂直（成直角）。见图 3-30，BC 为水平线，AK 为一般位置直线，$ak \perp bc$，则 $AK \perp BC$。



a)　　　　b)

图 3-29　直角的投影

a）直观图　b）投影图

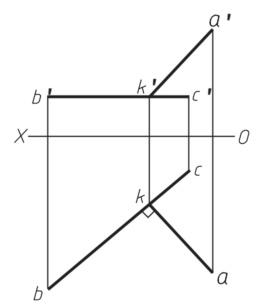


图 3-30　两直线垂直相交

例 3-7　已知直线 BC 和直线外一点 A 的两面投影，见图 3-31a，求 A 点到直线 BC 的距离。

分析：

过点作直线的垂线，垂线的实长即为点到直线的距离。关键是在投影图中如何作 BC 线的垂线，因为图 3-31a 中 BC 线为水平线，根据直角投影定理，过 A 点作直线 BC 的垂线，其水平投影仍垂直。

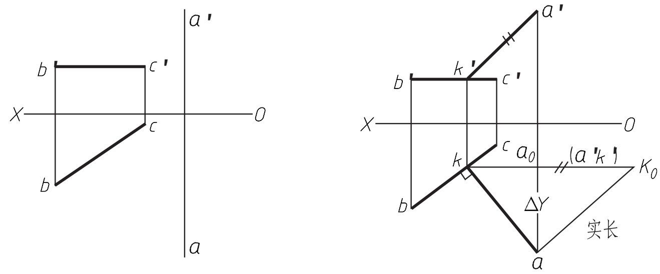
作图：见图 3-31b。

1）过 a 作 bc 的垂线得交点 k，k 便是垂足 K 的水平投影。

2）过 k 作 OX 轴的垂线与 $b'c'$ 相交于 k'，k' 就是垂足 K 的正面投影。

3）连接 a'、k' 和 a、k，则 AK（$a'k'$、ak）即为过 A 点所作 BC 线的垂线。

4）用直角三角形法求得 AK 的实长 K_0a，即为所求 A 点到 BC 直线的距离。



a)　　　　b)

图 3-31　求 A 点到 BC 直线的距离

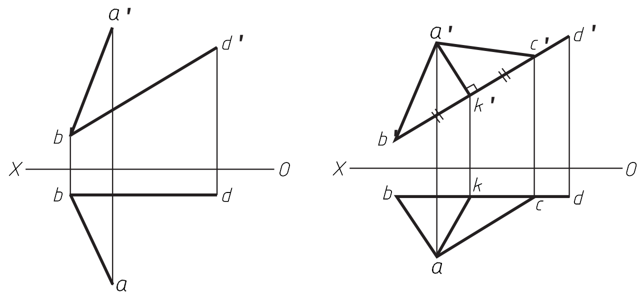
a）给题　b）求垂线及实长

例 3-8　已知等腰三角形 ABC 的一腰为 AB，它的底边 BC 在正平线 BD 上，见图3-32a，

求作此等腰三角形的投影。

分析：

根据等腰三角形的高垂直平分底边，又知底边在正平线 BD 上，根据直角投影定理，可直接作出等腰三角形的高。即由 A 点作 BD 线的垂线 AK，再在 BD 线上求出 C 点即得$\triangle ABC$。



a) b)

图 3-32 求等腰三角形的投影

a）给题 b）求解

作图：见图 3-32b。

1）过 a' 点作 $a'k' \perp b'd'$，并求出 ak，则 $AK(a'k'$、$ak)$ 即为三角形的高。

2）由于底边为正平线，所以正面投影反映实长，可量取 $k'c'=k'b'$，并求出水平投影 c 点，即为等腰三角形的另一个顶点。

3）连接 $a'c'$ 和 ac，即得所求等腰三角形 ABC 的投影$\triangle a'b'c'$和$\triangle abc$。

2. 垂直交叉两直线的投影——直角投影定理

根据初等几何中的规定，对交叉两直线的夹角是这样度量的：过空间任意点作两直线分别平行于已知的交叉两直线，所得相交两直线的夹角，即为交叉两直线所成的角度。由此可知，直角投影定理不仅适用于相交成直角的两直线，也同样适用于交叉成直角的两直线。

例 3-9 试过定点 A 作直线，垂直于已知直线 EF，见图 3-33a。

作图：见图 3-33b。

过点 A 作一正平线 AB，使 $a'b' \perp e'f'$，$ab /\!/ OX$，则 $AB(a'b'$、$ab)$ 便是一个解答，见图 3-33b。也可过点 A 作一水平线 AB，使 $ab \perp ef$，$a'b' /\!/ OX$，则 AB 是第二个解答（图中未画出）。

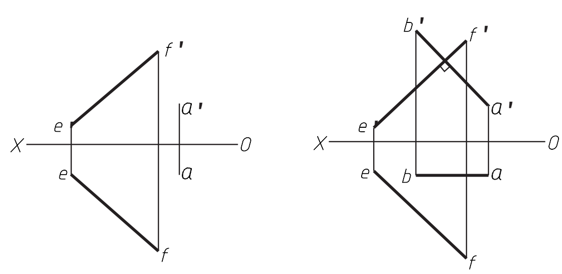
本题应有无穷多解，这里只是两个特解，其他解的求法将在后面章节中加以讨论。

例 3-10 设交叉两直线 AB、CD，且 AB 为铅垂线，CD 为一般位置直线，见图 3-34a，求两直线之间的距离。

分析：

设直线 AB、CD 之间的公垂线分别与 AB、CD 垂直相交于 E 和 F，则 EF 的实长就是 AB、CD 两直线间的距离。因 AB 线为铅垂线，故公垂线 EF 必是水平线。根据直角投影定理，则公垂线 EF 的水平投影 ef 必垂直于直线 CD 的水平投影 cd。又 AB 线的水平投影有积聚性，故垂足 E 的水平投影 e 也必在点 $a(b)$ 上，即公垂线的水平投影 ef 必过 $a(b)$ 点。

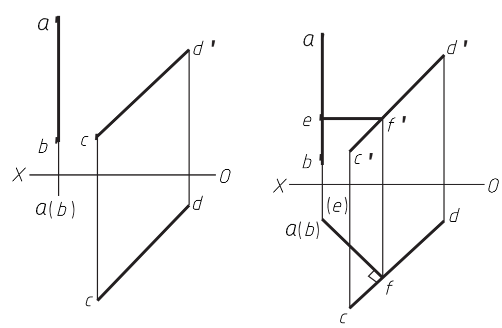
作图：见图 3-34b。



a) b)

图 3-33 两直线垂直交叉

a）给题 b）求出正平线 $AB \perp EF$



a) b)

图 3-34 求交叉两直线 AB、CD 之间的距离

a）给题 b）求出公垂线 EF 及其实长

1）过 $a(b)(e)$ 点作 $ef \perp cd$。

2）由 f 点作 OX 轴的垂线交 $c'd'$ 于 f' 点。

3）过 f' 作 $f'e' /\!/ OX$ 轴交 $a'b'$ 于 e' 点；因为 EF 为水平线，故 ef 反映 EF 的实长，ef 即为所求的距离。

例 3-11　已知菱形 $ABCD$ 的对角线 AC 的两个投影 ac、$a'c'$，另一条对角线 BD 位于 EF 直线上，且已知 EF 线的正面投影 $e'f'$，见图 3-35a，又 BD 线长为 30mm，求菱形的投影。

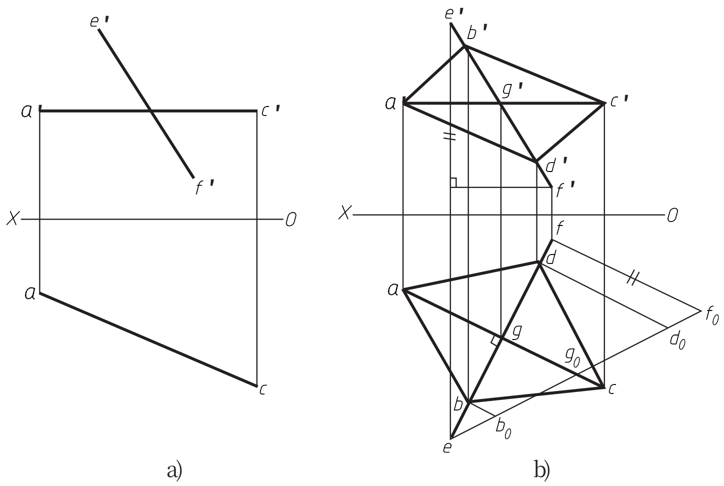


图 3-35　作菱形的两投影

a）给题　b）求解菱形

分析：

菱形的两条对角线是互相垂直平分的，由图 3-35a 可知，对角线 AC 为水平线，根据直角投影定理，对角线 BD 的水平投影 bd 必垂直于 ac，又已知 BD 的长度为 30mm，所以应用直角三角形法求出 BD 的投影长度后就可画出菱形的投影。

作图：见图 3-35b。

1）过 ac 中点 g 作直线 $ef \perp ac$。

2）用直角三角形法求得 EF 的实长 ef_0。

3）在 ef_0 上截取 $g_0b_0 = g_0d_0 = 15\text{mm}$ 得 b_0、d_0 点。

4）过 b_0、d_0 点分别作 $b_0b /\!/ d_0d /\!/ g_0g$，交 ef 线于 b、d，再由 b、d 点求得 b'、d'。

5）顺次连接 a'、b'、c'、d'、a' 及 a、b、c、d、a 各点，即得菱形 $ABCD$ 的投影。

第三节　平面的投影

一、平面在投影图上的表示法

1. 几何元素表示法

平面的空间位置可由下列任何一组几何元素来确定，见图 3-36。

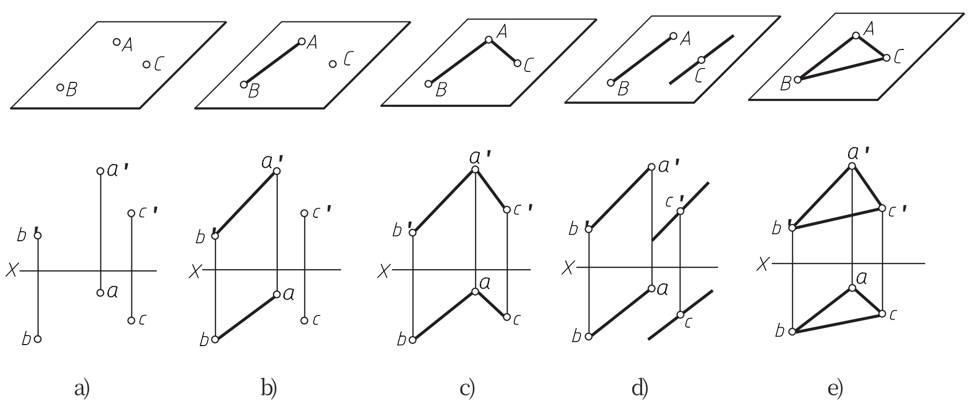


图 3-36　平面的几何元素表示法

a）三点表示法　b）一点一直线表示法　c）相交直线表示法　d）平行直线表示法　e）平面图形表示法

1）不在同一条直线上的三点，见图 3-36a。

2）一直线与直线外的一点，见图 3-36b。

3）相交两直线，见图 3-36c。

4）平行两直线，见图 3-36d。

5）任意平面图形，如三角形、四边形、圆形等，见图 3-36e。

以上用几何元素表示平面的五种形式，它们之间是可以互相转换的，即可以从其中一种形式转换为另一种形式。例如连接 A、B 两点，则从形式 1 转换为形式 2，然而，它们之间的转变只是形式上的变化，表示的仍是空间同一个平面。

2. 迹线表示法

表示平面的方法虽然有上述五组几何元素，但是为了使平面的空间位置比较明显和表示方便起见，也常用平面与投影面的交线，即平面的迹线来表示平面。

图 3-37a 中，一般位置平面 P 与 H、V、W 三投影面分别相交得交线 P_H、P_V 和 P_W，其中 P_H 称为平面 P 的水平迹线，P_V 称为平面 P 的正面迹线，P_W 称为平面 P 的侧面迹线。P_V、P_H 和 P_W 又两两相交得交点 P_x、P_y 和 P_z，P_x、P_y 和 P_z 称为迹线集合点。

迹线具有双重性：既是投影面内的一直线，也是某个平面内的一直线。如图 3-37a 中的 P_H 便是既在 H 面内又在 P 平面内的一直线。由于迹线在投影面内，便有一个投影和它本身重合，另外两个投影便与相应的投影轴重合。如图 3-37a 中的 P_H，其水平投影即与 P_H 重合，正面投影和侧面投影分别与 X 轴和 Y 轴重合。在投影图上，通常只将迹线与自身重合的那个投影画出，并用符号标记，凡和投影轴重合的，则省略标记，见图 3-37b。

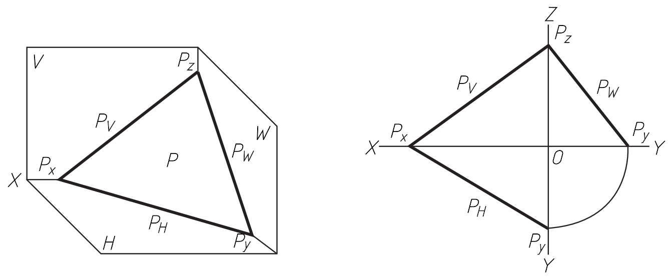


图 3-37 平面的迹线表示法

a）直观图 b）投影图

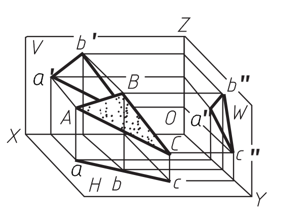
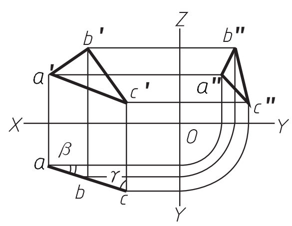
为了说明简便起见，凡用上述五组几何元素所表示的平面称为非迹线平面，凡用迹线表示的平面称为迹线平面。显而易见，平面的迹线表示法和几何元素表示法的本质是一样的。实质上用迹线表示平面可以认为是用几何元素表示平面的特殊情况，如图 3-37a 所示的平面 P 就是一个三边位于不同投影面上的三角形平面。

二、平面对投影面的相对位置及其投影特性

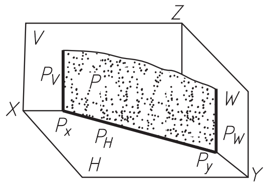
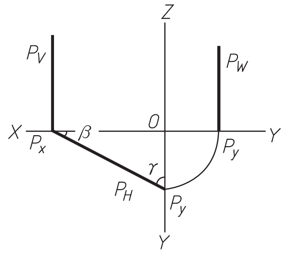
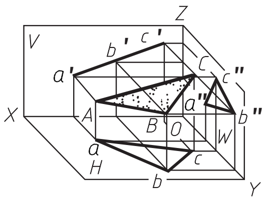
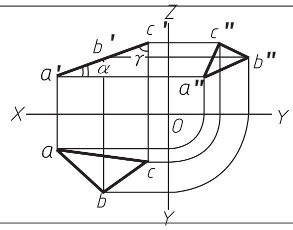
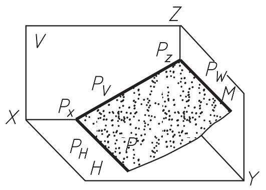
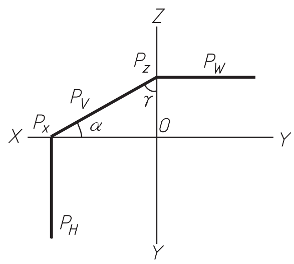
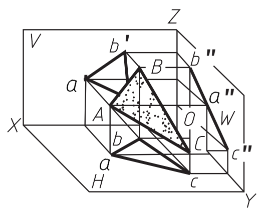
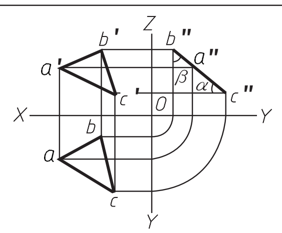
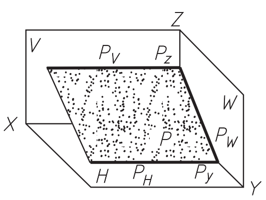
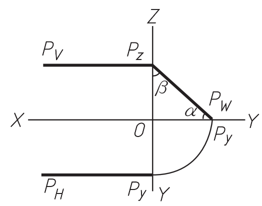
根据空间平面对三个投影面的相对位置不同，平面可分为三类：

1. 投影面垂直面（见表 3-4）

表 3-4 投影面垂直面

投影面垂直面		直观图	投影图	投影特性
铅垂面（⊥H 面）	非迹线平面			水平投影成一直线段，且有积聚性，反映 β、γ 角，正面投影和侧面投影具有类似性

（续）

投影面垂直面		直观图	投影图	投影特性
铅垂面（⊥H面）	迹线平面			P_V⊥X轴 P_W⊥Y轴 P_H有积聚性 反映β、γ角
正垂面（⊥V面）	非迹线平面			正面投影成一直线段，且有积聚性，反映α、γ角，水平投影和侧面投影具有类似性
	迹线平面			P_H⊥X轴 P_W⊥Z轴 P_V有积聚性 反映α、γ角
侧垂面（⊥W面）	非迹线平面			侧面投影成一直线段，且有积聚性，反映α、β角，正面投影与水平投影具有类似性
	迹线平面			P_V⊥Z轴 P_H⊥Y轴 P_W有积聚性 反映α、β角

凡垂直于某一投影面，且同时倾斜于其他两个投影面的平面称为投影面垂直面。由于投影面的不同，投影面垂直面又分为：

1）铅垂面——垂直于水平投影面 H 的平面。

2）正垂面——垂直于正面投影面 V 的平面。

3）侧垂面——垂直于侧面投影面 W 的平面。

其中，正垂面的投影特性是：

1）正面投影积聚成一直线段。

2）正面投影与 OX 轴的夹角，反映平面对 H 面的倾角 α，正面投影与 OZ 轴的夹角，反映平面对 W 面的倾角 γ。

3）正垂面的水平投影和侧面投影具有类似性。

从表 3-4 可见，铅垂面和侧垂面也有与正垂面类似的投影特性。

总之，投影面垂直面的投影特性是：

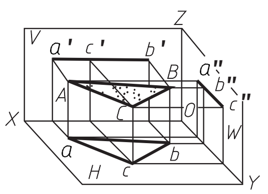
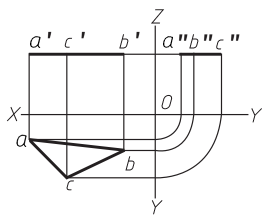
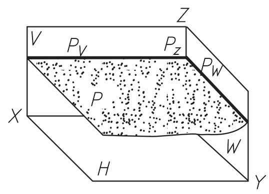
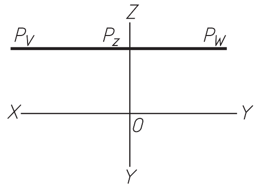
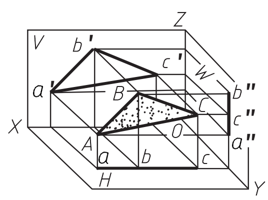
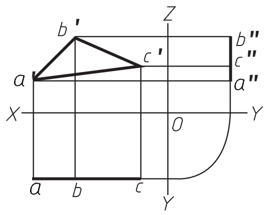
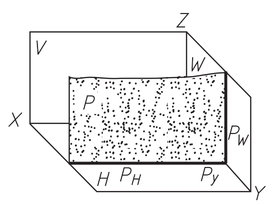
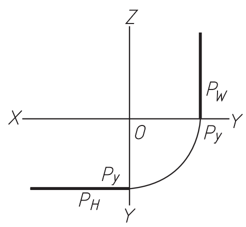
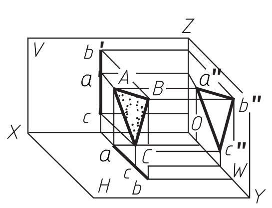
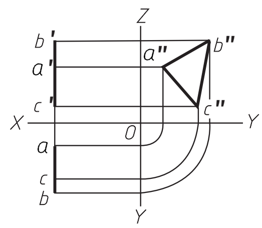
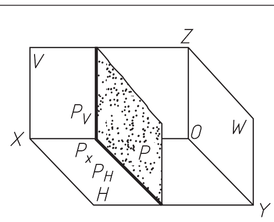
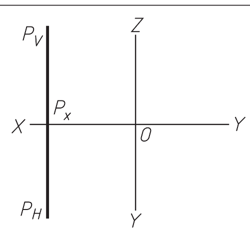
1）在所垂直的投影面上的投影积聚为一条与该投影面内两个投影轴都倾斜的直线，该斜直线与投影轴的夹角，反映该平面对相应投影面的倾角。

2）它的另外两个投影具有类似性。

当用迹线表示平面时，通常只画出具有积聚性的迹线（斜线）来表示垂直面，即铅垂面只画出迹线 P_H，正垂面只画出迹线 P_V，侧垂面只画出迹线 P_W。

2. 投影面平行面（见表 3-5）

表 3-5　投影面平行面

<table>
<tr><th colspan="2">投影面平行面</th><th>直　观　图</th><th>投　影　图</th><th>投 影 特 性</th></tr>
<tr><td rowspan="2">水平面
（∥H 面）</td><td>非迹线平面</td><td></td><td></td><td>正面投影和侧面投影积聚成一直线段，且分别平行于 OX 轴和 OY 轴；水平投影反映实形</td></tr>
<tr><td>迹线平面</td><td></td><td></td><td>P_V ∥ OX 轴，P_W ∥ OY 轴，且都具有积聚性，没有 P_H，平面内任何图形的水平投影均反映实形</td></tr>
<tr><td rowspan="2">正平面
（∥V 面）</td><td>非迹线平面</td><td></td><td></td><td>水平投影和侧面投影积聚成一直线段，且分别平行于 OX 轴和 OZ 轴，正面投影反映实形</td></tr>
<tr><td>迹线平面</td><td></td><td></td><td>P_H ∥ OX 轴，P_W ∥ OZ 轴，且都具有积聚性，没有 P_V，平面内任何图形的正面投影均反映实形</td></tr>
<tr><td rowspan="2">侧平面
（∥W 面）</td><td>非迹线平面</td><td></td><td></td><td>正面投影和水平投影积聚成一直线段，且分别平行于 OZ 轴和 OY 轴，侧面投影反映实形</td></tr>
<tr><td>迹线平面</td><td></td><td></td><td>P_V ∥ OZ 轴，P_H ∥ OY 轴，且都具有积聚性，没有 P_W，平面内任何图形的侧面投影均反映实形</td></tr>
</table>

凡平行某一投影面也即垂直于其他两个投影面的平面称为投影面平行面。由于投影面的不同，投影面平行面又分为：

1）水平面——平行于水平投影面 H 的平面。

2）正平面——平行于正面投影面 V 的平面。

3）侧平面——平行于侧面投影面 W 的平面。

不难看出，投影面平行面与一个投影面平行，必同时与其他两个投影面垂直。

其中，水平面的投影特性是：

1）水平投影反映平面的实形。

2）正面投影和侧面投影都积聚成一直线段，且分别平行于 OX 轴和 OY 轴。

从表 3-5 可见，正平面和侧平面也有类似的投影特性。

总之，投影面平行面的投影特性为：

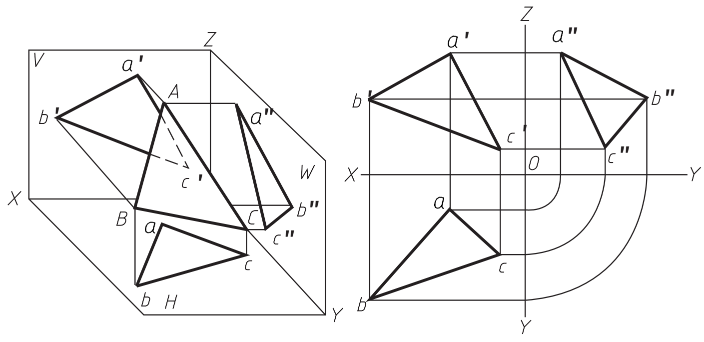
1）在它所平行的投影面上的投影反映平面的实形。

2）在另外两个投影面上的投影均积聚为一条直线，且平行于相应的投影轴。平行面只有两条迹线（都具有积聚性），通常可画出任一条来表示此平面。

3. 一般位置平面

凡与各投影面都倾斜的平面称为一般位置平面，或称为投影面倾斜面，见图 3-38。

由图 3-38 可见，它的三个投影既没有积聚性，又不反映实形，而只具有类似性。



a)　b)

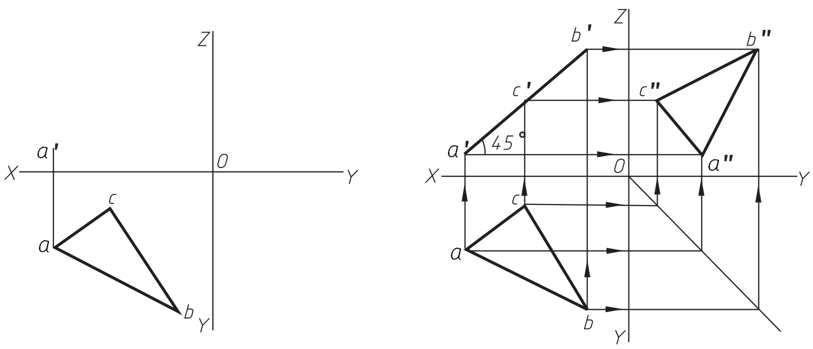
图 3-38　一般位置平面的投影

a）直观图　b）投影图

例 3-12　$\triangle ABC$ 为一正垂面，已知其水平投影 $\triangle abc$，顶点 A 的正面投影 a' 及三角形平面对 H 面的倾角 $\alpha = 45°$，见图 3-39a，试求其正面投影和侧面投影。

分析：

因为 $\triangle ABC$ 为一正垂面，所以 $\triangle ABC$ 的正面投影必为一直线，且它与 OX 轴的夹角即为 $\triangle ABC$ 与 H 面的倾角 α。根据 $\alpha = 45°$，即可画出其正面投影，由正面投影和水平投影就可画出侧面投影。



a)　b)

图 3-39　求 $\triangle ABC$ 的投影

a）给题　b）求解

作图：见图 3-39b。

1）过 a' 作与 OX 轴成 45°角的直线。

2）再过 b、c 作 OX 轴的垂线与其交于 b'、c'，则线段 $a'c'b'$ 即为△ABC 的正面投影。

3）分别求出各顶点的侧面投影 a''、b''、c''，并连接之，即得△ABC 的侧面投影△$a''b''c''$。

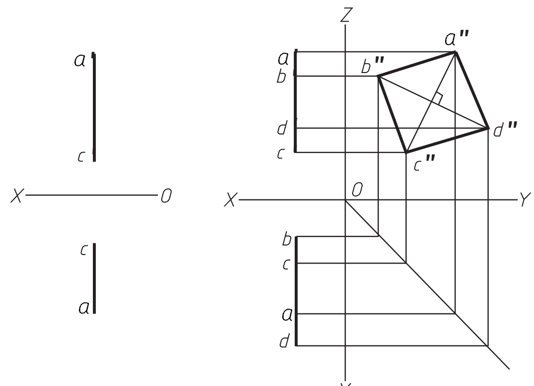
显然，本题有两解。

例 3-13 已知侧平线 AC 的两面投影 ac 和 $a'c'$，见图 3-40a，试以 AC 为对角线，作正方形 $ABCD$ 平行于侧面投影面。

分析：

已知 AC 为侧平线，故它的侧面投影反映实长，又因求作的正方形 $ABCD$ 为侧平面，故它的侧面投影反映实形，且它的对角线互相垂直平分。

作图：见图 3-40b。



a) b)

图 3-40 作平行于侧面的正方形的投影

a）给题 b）求解

1）由 ac、$a'c'$ 求出 $a''c''$。

2）作 $a''c''$ 的垂直平分线，并对称截取 $b''d''=a''c''$，连接 a''、b''、c''、d''、a'' 即为正方形的侧面投影。

3）根据正方形的正面投影、水平投影都具有积聚性的特点，由 b''、d'' 分别求出 b、b' 和 d、d'，即得正方形的正面投影 $a'b'c'd'$ 和水平投影 $abcd$。则 $ABCD$ 即为所求平行于侧面的正方形。

三、平面内的直线和点

具备下列两个条件之一的直线，必位于给定的平面内：

1）直线上有两点在平面内。

2）直线上有一点在平面内，且直线平行于平面内的某一条直线。

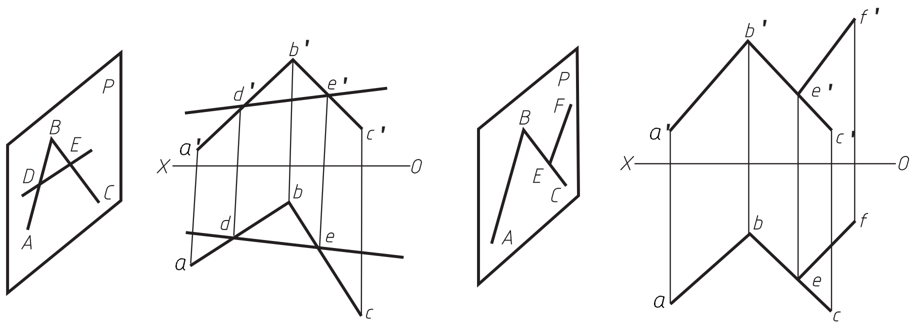
满足下列条件的点，必位于给定的平面内：点在某直线上，而该直线在平面内。

（一）在一般位置平面内取点和直线

1. 在平面内取直线

如图 3-41a、b 所示，平面 P 由相交两直线 AB 和 BC 所决定，在 AB 和 BC 线上各取一点 D 和 E，则 D、E 两点必在平面 P 内。因此，D、E 连线必在平面 P 内。

若通过 BC 线上任一点 E 作 $EF /\!/ AB$，则 EF 直线必在平面 P 内，见图 3-41c、d。



a) b) c) d)

图 3-41 平面内的直线和点

a）平面内两点连直线直观图 b）平面内两点连直线投影图 c）平面内一点一方向直观图 d）平面内一点一方向投影图

2. 平面内可取哪些位置直线

由于几何元素直线和平面本身都具有方向性，所以在不同位置平面内取直线时，必须注意它们这一特性。例如，在一般位置平面内就不可能作出投影面垂直线，这是因为垂直线上的各点在某投射方向具有积聚性，而一般位置平面内的直线不能满足这一条件。各种位置平面内可作出的直线，见表 3-6。

表 3-6　在已知平面内取直线

已知平面	在已知平面上可作何种位置直线		
一般位置平面	一般位置直线	平　行　线	（不能作垂直线）
垂直面{铅垂面 正垂面 侧垂面	一般位置直线	水平线 正平线 侧平线	铅垂线 正垂线 侧垂线
平行面{水平面 正平面 侧平面	（不能作一般位置直线）	水平线 正平线 侧平线	正垂线、侧垂线 铅垂线、侧垂线 铅垂线、正垂线

3. 在平面内取点

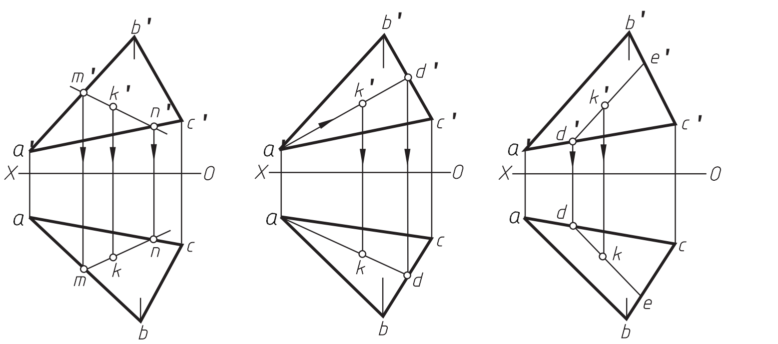
1）直接在平面内的已知直线上选取，如果点在平面内的任一直线上，则此点必在该平面内，此点的各投影必在该平面内通过该点的直线的同面投影上，见图 3-41a、b 中 D、E 两点都在由两相交直线 AB、BC 所决定的平面内。

2）先在平面内取一直线（辅助线），然后在该直线上选取符合要求的点，见图 3-42a。有时为了作图简便，使辅助线通过平面内的一个顶点，见图 3-42b。或平行于某已知直线，见图 3-42c。

4. 在平面内取点与取直线两者之间的关系

如图 3-42a 所示，为了在△ABC 平面内取一直线 MN，需先取两点 M、N，而点 M、N 又取自平面内的直线 AB 和 AC。可见，两者是互为因果关系的。因此，在投影图上若不运用取点和取直线的这种关系，直接在平面内取点是不可能的。

例 3-14　试判别图 3-43 中的点 E 是否在△ABC 平面内。



a)　　b)　　c)

图 3-42　在平面内作辅助线取点

a）面内任一辅助线取点　b）过顶点的面内辅助线取点　c）平行一边的面内辅助线取点

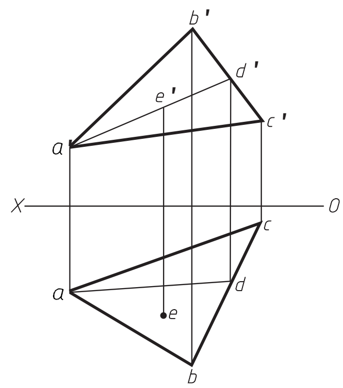


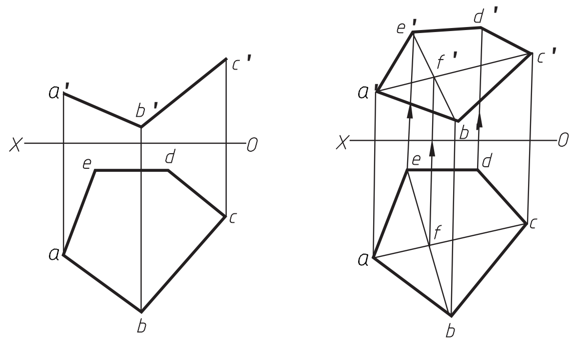
图 3-43　点 E 不在△ABC 平面内

在△ABC 平面内作辅助线 AD，使其正面投影 $a'd'$通过 e'，再作出水平投影 ad，如果 ad 也通过 e，则点 E 在△ABC 平面内，否则点 E 不在△ABC 内。由图 3-43 可知，点 E 不在△ABC 平面内。

例 3-15　已知五边形平面 $ABCDE$ 的水平投影 $abcde$ 和正面投影 $a'b'c'$，又知其边 AB∥CD，见图 3-44a，试完成此五边形的正面投影。

分析：

可利用平面内的辅助线 BE 和 AC 求得交点 $F(f$、$f')$，从而作出 e'；再根据 CD∥AB，则 $c'd'$∥$a'b'$，以及 $dd'\perp OX$ 轴，可作出 d'，于是问题得到解决。



a)　　b)

图 3-44　求五边形 $ABCDE$ 的正面投影

a）给题　b）求解

作图：见图3-44b。

1）连 ac 及 be 相交于 f 点。

2）在 $a'c'$ 上，由 f 求出 f'。

3）连 b'、f' 并延长之，与过 e 点所作的 OX 轴的垂线相交得 e'。

4）自 c' 点作 $c'd' /\!/ a'b'$，并与由 d 点所作的 OX 轴的垂线相交得 d' 点。

5）最后连接 $e'd'$ 和 $a'e'$，即完成五边形 $ABCDE$ 的正面投影 $a'b'c'd'e'$。

（二）过已知直线或点作平面

上面讨论了在定平面内取点、取直线的问题，这里要讨论的是与其相反的问题，即过已知点或已知直线作平面。因此，它的作图方法只不过是上述作法的逆推而已。

1. 过已知直线作平面

1）过已知直线作一般位置平面。见图3-45a，已知直线 AB，如果不附加其他条件过直线 AB 可作无数个平面。

作法一：

见图3-45b，在已知直线 AB（$a'b'$、ab）外任取一点 C（c、c'），则△ABC（△$a'b'c'$、△abc），即为所求的一般位置平面。

作法二：

见图3-45c，过已知直线 AB 上任意一点 E（e'、e）任作一直线 CD，则 AB 和 CD 相交的两直线所决定的平面就是所求的包含直线 AB 的一般位置平面。

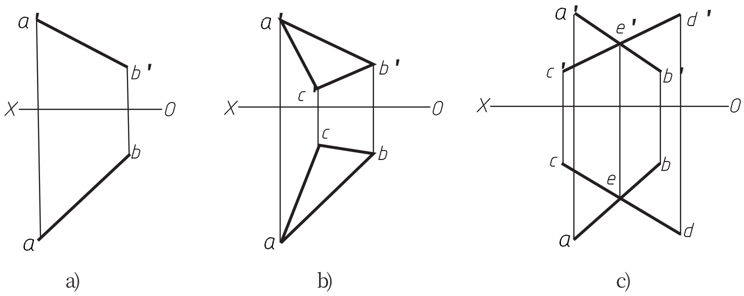


图3-45 过已知直线作一般位置平面

a）已知直线 b）由直线及线外一点作平面 c）由两相交直线构成平面

2）过任意直线总可以作投影面垂直面。欲过一般位置直线 AB 作一铅垂面总是可能的，见图3-46a，过 AB 直线上任意点如 B 点，作铅垂线 Bb，即 Bb 垂直于 H 面，则过 Bb 的一切平面均垂直于 H 面，即相交两直线 Bb 和 AB 确定的平面 S 必是铅垂面，S 平面与水平投影面 H 的交线 S_H 必与 AB 直线的水平投影 ab 重合。因此，在投影图上作图，可利用垂直面的积聚性，如图3-46b为过直线 AB 所作的铅垂面；图3-46c为过直线 AB 线所作的正垂面；同理，可过直线 AB 作侧垂面。

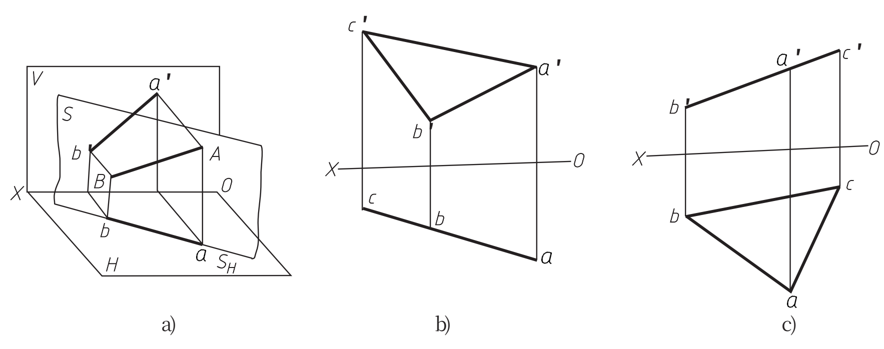


图3-46 过直线作投影面垂直面

a）直观图 b）过 AB 线作铅垂面 c）过 AB 线作正垂面

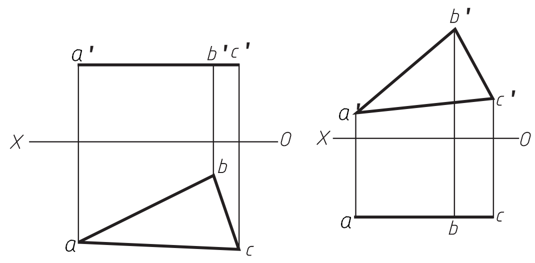
但应指出：因 AB 线是一般位置直线，过 AB 线不能作水平面或正平面。只有经过水平线才能作出水平面，如图3-47a为过水平线 AB 作水平面；图3-47b为过正平线 AB 作正平面。

3）过投影面垂直线可以作投影面垂直面和平行面，但不能作一般位置平面。这是因为垂直线的某一投影具有积聚性，而一般位置平面则无这种特性。例如，图3-48为过铅垂线 AB 可作无数个铅垂面和

一个正平面、一个侧平面。包含正垂线或侧垂线作平面的情况，请读者自行分析。

2. 过已知点作平面

过已知点作平面时，如果不附加其他条件，可作无数个一般位置平面或投影面垂直面，而对于正平面、水平面和侧平面则只能各作一个。鉴于作图方法比较简单，可由读者自行分析。



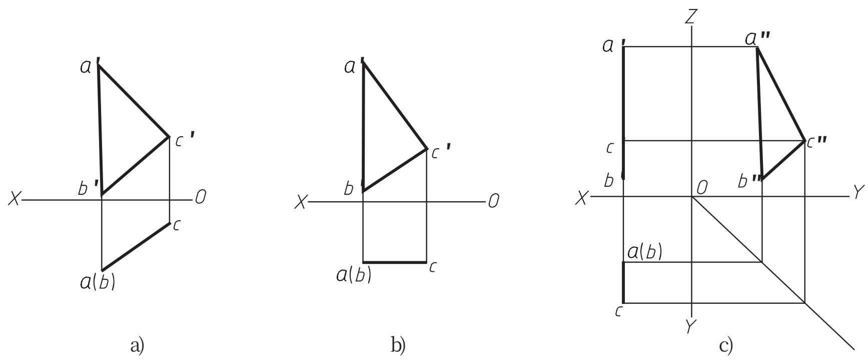
a)　　b)

图 3-47　过已知直线作投影面平行面

a）过水平线 *AB* 作水平面　b）过正平线 *AB* 作正平面

例 3-16　已知△*ABC* 的两个投影，见图 3-49a，试在△*ABC* 平面内取一点 *K*，使 *K* 点的坐标为：

$X=25\text{mm}$，$Z=10\text{mm}$。



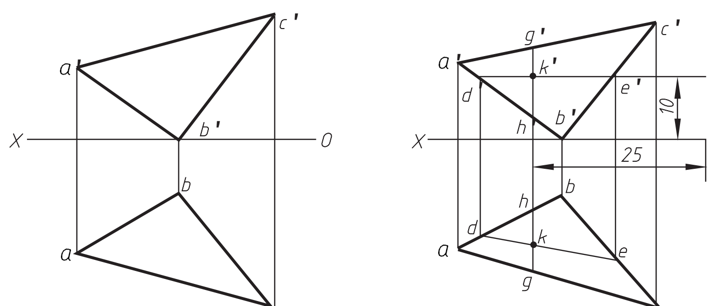
a)　　b)　　c)

图 3-48　过垂直线作平面

a）过 *AB* 线可作无数个铅垂面　b）过 *AB* 线可作一个正平面　c）过 *AB* 线可作一个侧平面

分析：

K 点的 *Z* 坐标，表示它与 *H* 面的距离，平面内的水平线是该平面内与 *H* 面等距离点的轨迹；点的 *X* 坐标，表示它与 *W* 面的距离，平面内的侧平线是该平面内与 *W* 面等距离点的轨迹。则此两轨迹的交点，即平面内的水平线与平面内的侧平线的交点，必同时满足与 *H* 面和 *W* 面为定距离的要求。



a)　　b)

图 3-49　在平面内取点

a）已知平面 *ABC*　b）平面 *ABC* 内取定点

作图：见图 3-49b。

1）在△*ABC* 内作一条与 *H* 面距离为 10mm 的水平线 *DE*，即使 $d'e' /\!/ OX$ 轴，且距 *OX* 轴为 10mm，并由 $d'e'$ 求出 *de*。

2）在△*ABC* 内作一条与 *W* 面距离为 25mm 的侧平线 *GH*，即作 $g'h'$、*gh* 均平行于 *OZ* 轴，且距 *OZ* 轴（即 *O* 点）为 25mm。

3）水平线 *DE* 与侧平线 *GH* 的交点 $K(k、k')$ 即为所求。

四、平面内的特殊位置直线

前面已经讨论过在平面内一般可以画出各种不同位置的直线，其中在解决某些几何问题时经常用到的是下面两种特殊位置直线：

1）平面内的投影面平行线。

2）平面内对投影面的最大斜度线。

下面分别加以讨论。

1. 平面内的投影面平行线

在已知平面内，且与某一投影面平行的直线，称为平面内的投影面平行线。根据其所平行的投影面为 H、V 或 W 面，可分为：平面内的水平线、平面内的正平线和平面内的侧平线三种，见图 3-50。

位于一般位置平面内或投影面垂直面内的投影面平行线的方向是一定的，见图 3-50。位于一般位置平面 P 内的水平线均互相平行，而且它们平行于平面 P 与 H 面的交线——水平迹线 P_H；平面 P 内的正平线互相平行，而且它们平行于 P 平面与 V 面的交线——正面迹线 P_V；同样，P 平面内的侧平线均互相平行，而且它们平行于平面 P 与 W 面的交线——侧面迹线 P_W。

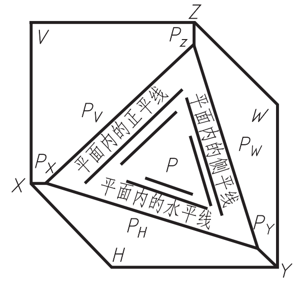
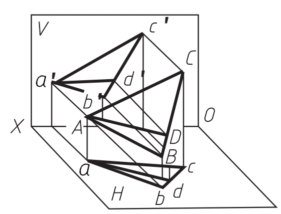
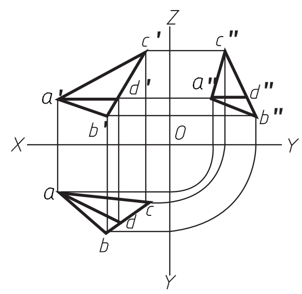
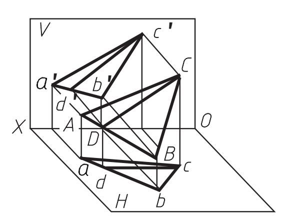
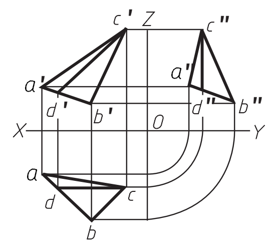
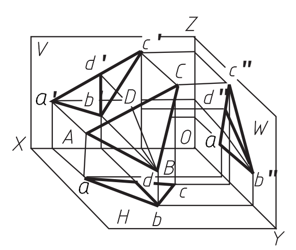
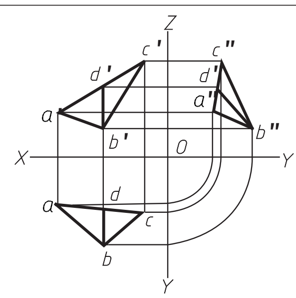


图 3-50　平面内的投影面平行线

平面内的投影面平行线的作图依据是：直线既要符合投影面平行线的投影特性，又要满足直线在平面内的几何条件，见表 3-7。

表 3-7　平面内的投影面平行线

名　　称	直　观　图	投　影　图	投 影 特 性
平面内的水平线（AD）			$a'd' /\!/ OX$ $a''d'' /\!/ OY$ $ad = AD$
平面内的正平线（CD）			$cd /\!/ OX$ $c''d'' /\!/ OZ$ $c'd' = CD$
平面内的侧平线（BD）			$b'd' /\!/ OZ$ $bd /\!/ OY$ $b''d'' = BD$

2. 平面内对投影面的最大斜度线

（1）最大斜度线的概念　平面内对投影面倾角为最大的直线称为最大斜度线。见图 3-51a，P 平面为一般位置平面，P_{H} 为 P 平面的水平迹线，也是 P 平面内的水平线。

从 P 平面内的任意一点 N 作直线 $NM \perp P_{\mathrm{H}}$ 和任意直线 NM_1、NM_2 等（图中只画出 NM_1），则在直角△NMM_1 中，由于直角边小于斜边，所以 $NM < NM_1$，即 N 点到直线 P_{H} 上各点的距离以垂直距离 NM 为最短。它们在 H 面上的投影分别为 nm 和 nm_1，而 M、M_1 在 H 面内，所以 m、m_1 分别与 M、M_1 重合。由此可见，△NMn 和△NM_1n 都是直角三角形，而 α 和 α_1 即为斜边 NM 和 NM_1 对 H 面的倾角。如

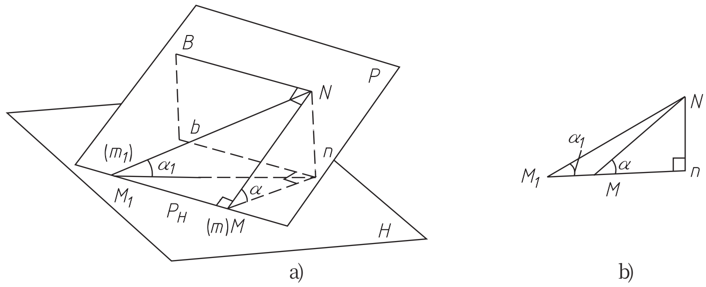


图 3-51　平面内对 H 面的最大斜度线
a）直观图　b）最大斜度线对投影面的倾角为最大

将两个直角 $\triangle NMn$ 和 $\triangle NM_1n$ 重叠在一起，见图 3-51b，显然，它们的直角边 Nn 相同，而斜边最短者倾角为最大，由于 $NM_1 > NM$，所以 $\alpha > \alpha_1$，即以 NM（斜边最短）对 H 面的倾角 α 为最大。因此，NM 为平面 P 内过 N 点对 H 面的最大斜度线。

可见，最大斜度线 NM 是属于平面 P，并垂直于该平面内的投影面平行线 P_H 的直线。

（2）最大斜度线的投影特性　由图 3-52 可见，平面内最大斜度线可分为：

平面内对 H 面的最大斜度线——垂直于该平面内的水平线和平面的水平迹线 P_H；

平面内对 V 面的最大斜度线——垂直于该平面内的正平线和平面的正面迹线 P_V；

平面内对 W 面的最大斜度线——垂直于该平面内的侧平线和平面的侧面迹线 P_W。

由以上分析可知，平面对投影面的最大斜度线，其方向必定垂直于此平面内的该投影面的平行线，即在图 3-51a 中 $NM \perp NB$（NB 为水平线），$NM \perp P_H$。由直角投影定理可知，最大斜度线在该投影面上的投影必定垂直于此平面内该投影面平行线的同面投影，即 $nm \perp nb$，$nm \perp P_H$。

（3）平面对投影面的倾角　图 3-51a 中，$\angle NMn$（α 角）为平面 P 内对 H 面的最大斜度线 NM 与 H 面的夹角，此夹角即为平面 P 对 H 面的倾角。因此，最大斜度线的主要几何意义在于可以利用它来测定平面对投影面的倾角。

（4）最大斜度线的物理意义　如图 3-53 所示，当球或水珠落在屋顶上的斜坡平面上时，则它一定是沿着斜坡平面对水平面的最大斜度线的方向滚下来。而骑车上坡时，沿最大斜度线方向骑行，距离最短，但坡度最陡。

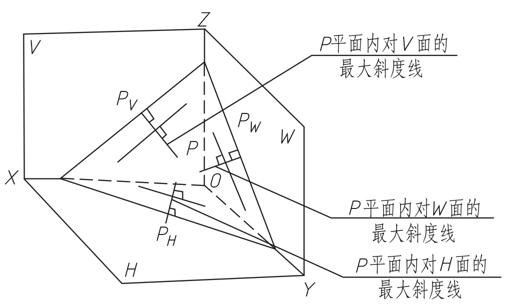


图 3-52　平面内的最大斜度线

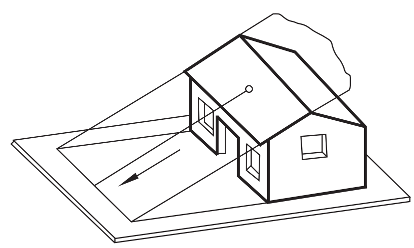


图 3-53　最大斜度线的物理意义

例 3-17　求 $\triangle ABC$ 平面对 H 面和 V 面的倾角 α 和 β，见图 3-54。

分析：

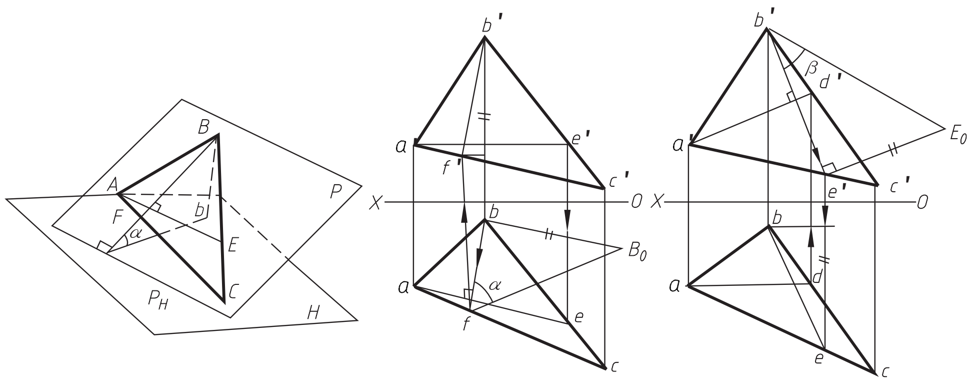
欲求平面 $\triangle ABC$ 对 H 面的倾角 α，也就是求 $\triangle ABC$ 平面内对 H 面的最大斜度线与 H 面的夹角 α。为此，应先在 $\triangle ABC$ 平面内作一水平线，并作出水平线的垂线，即对 H 面的最大斜度线，再求出它对 H 面的倾角 α，见图 3-54a。

作图：见图 3-54b。

1）在 $\triangle ABC$ 内作水平线 $AE(ae、a'e')$。

2）过 b 作 bf 垂直于 ae，交 ac 于 f，再求出 f'，并连接 b'、f'，则 $BF(bf、b'f')$ 为 $\triangle ABC$ 平面对 H 面的最大斜度线。

3）用直角三角形法求出 BF 对 H 面的夹角 α，α 即为所求。



a)　　b)　　c)

图 3-54　求△*ABC* 平面对 *H*、*V* 面的倾角 *α*、*β*

a）直观图　b）求△*ABC* 对 *H* 面的倾角 *α*　c）求△*ABC* 对 *V* 面的倾角 *β*

同理，可求出 *β*，见图 3-54c。

例 3-18　试过水平线 *AB* 作一与 *H* 面成 30°倾角的平面。

分析：

因平面内最大斜度线与 *H* 面的夹角反映该平面对 *H* 面的倾角。因此，只要作出一条与 *H* 面成 30°夹角的最大斜度线与 *AB* 线相交，那么，最大斜度线与 *AB* 线所决定的平面，即为所求。

作图：见图 3-55。

1）在水平线 *AB* 上任取一点 *C*(*c*、*c'*)，过 *c* 作与 *ab* 垂直的线段 *cd*。

2）过 *d* 点作与 *cd* 夹角为 30°的直线与 *ab* 交于 *e* 点。

3）*ec* 为 *CD* 线的 *Z* 坐标差，并由此求出 *d'*。

4）连接 *c'd'*。

线段 *CD* 与水平线 *AB* 决定的平面即为所求。

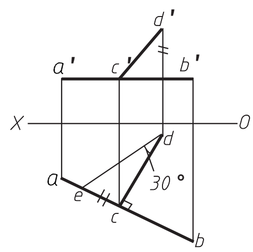


图 3-55　作与 *H* 面成 30°倾角的平面

第四章　直线、平面的相对位置

第一节　空间几何元素间的相对位置关系

在点、直线和平面三种空间几何元素之间，如果去掉重合，则两空间几何元素间存在十三种相对位置关系，归纳如下。

一、相交关系

①两直线相交；②两平面相交；③线面相交。

二、平行关系

①两直线平行；②两平面平行；③线、面平行。

三、垂直关系

①两直线垂直；②两平面垂直；③线、面垂直。

四、交叉关系

两直线交叉。

五、从属关系

①点、线从属关系；②点、面从属关系；③线、面从属关系。

以上 13 种相对位置关系中，前面已讨论过的有如下 7 种：3 种从属关系及两直线平行、两直线相交、两直线交叉和两直线垂直等。因此，本章主要讨论其余 6 种：

平行问题：直线与平面平行，平面与平面平行。

相交问题：直线与平面相交，平面与平面相交。

垂直（相交的特殊情况）问题：直线与平面垂直，平面与平面垂直。

第二节　直线、平面的平行关系

一、直线与平面平行

从初等几何学知道，若一直线和某平面上的任一直线平行，则此直线平行于该平面。如图 4-1a 所示，直线 DE 平行于△ABC 平面内的直线 FG，则 DE 线平行于△ABC 平面，图 4-1b 是它的投影图。

运用这个几何定理，可以在投影图中解决以下作图问题：

1）判别直线与平面是否平行。

2）过定点作直线平行于已知平面。

3）过定点作平面平行于已知直线。

例 4-1　试判别直线 EF 是否平行于△ABC 平面，见图 4-2。

分析：

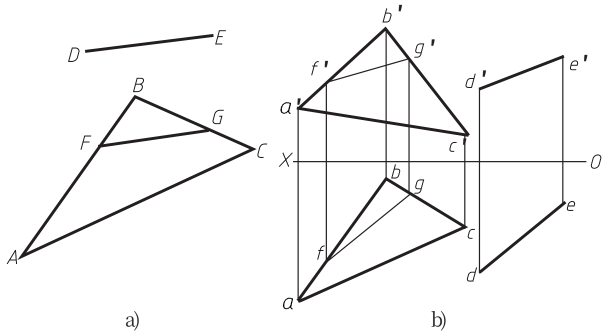


图4-1　直线与平面平行

a）空间图　b）投影图

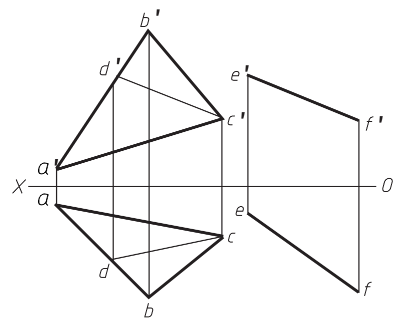


图4-2　判别直线与平面是否平行

在△*ABC*平面内是否能作出平行于*EF*的直线，若能作出，则*EF*平行于△*ABC*平面，反之，不平行。

作图：

1）在△*ABC*内作一直线*CD*，使$c'd'/\!/e'f'$。

2）求出*CD*线的水平投影*cd*，因为*cd*不平行*ef*，所以*EF*直线不平行于△*ABC*平面。

例4-2　已知平面△*ABC*及其平面外一点*M*的投影，见图4-3a，试过点*M*作一正平线*MN*（长度任取），使它与△*ABC*平面平行。

分析：

先在△*ABC*内作一条正平线，再经过*M*点作一直线平行于这条直线，则过*M*点所作直线，便是平行于△*ABC*平面的正平线。又因为，△*ABC*内所有的正平线都是互相平行的，所以过*M*点只能作一条正平线平行于△*ABC*。

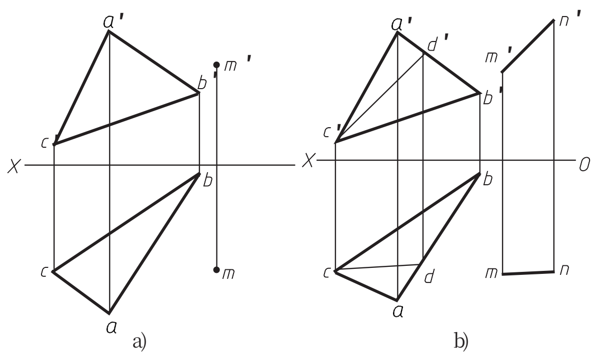


图4-3　过*M*点作正平线平行于已知平面

a）给题　b）求解

作图：见图4-3b。

1）作$cd/\!/OX$轴，并求得$c'd'$，则$CD(cd、c'd')$即为△*ABC*平面内的一条正平线。

2）过$M(m、m')$点作$mn/\!/cd$，$m'n'/\!/c'd'$，则$MN/\!/CD/\!/$△*ABC*。

即*MN*为所求的平行于△*ABC*平面的正平线。

例4-3　已知直线*AB*和线外一点*C*的投影，见图4-4a。

1）试过*C*点作平面平行于直线*AB*。

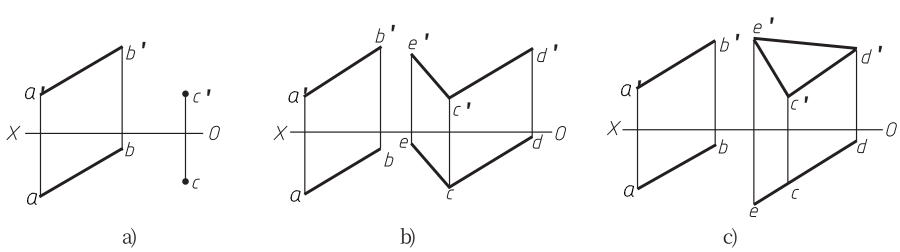


图4-4　过一点作平面平行于已知直线

a）给题　b）作平面$/\!/AB$　c）作铅垂面$/\!/AB$

2）试过*C*点作一铅垂面平行于直线*AB*。

分析：

1）过 C 点可作一条直线 $CD /\!/ AB$，再任意引一直线 CE，则 CD、CE 相交两直线所决定的平面，平行于直线 AB。

2）为使过 C 点所作的铅垂面平行于已知直线 AB，则铅垂面的水平投影（积聚成直线）应平行于直线 AB 的水平投影 ab。

作图：

1）见图 4-4b，过点 $C(c、c')$ 作 $cd /\!/ ab$，$c'd' /\!/ a'b'$，则 $CD /\!/ AB$；再过 C 点任意作一直线 $CE(ce、c'e')$，则 CD、CE 相交两直线所决定的平面便是所求。

由于 CE 线可以任意作出，所以本问题可有无数个解。

2）见图 4-4c，过 C 点作直线 $CD /\!/ AB$，即作 $cd /\!/ ab$，$c'd' /\!/ a'b'$；再过 CD 直线作一铅垂面，即任取一点 e'，并由 e' 作 OX 轴的垂线，交 cd 于 e 点，则 $\triangle CDE(\triangle c'd'e'$ 和 $cde)$ 即为所求平面。

由于过 CD 线的铅垂面只能作一个，所以本题为唯一解。

二、平面与平面平行

从初等几何学知道，如果一个平面内的相交两直线，例如 P 平面内相交两直线 AB、BC，对应地平行于另一个平面内的相交两直线，例如 Q 平面内相交两直线 A_1B_1、B_1C_1，则此两平面互相平行，见图 4-5。

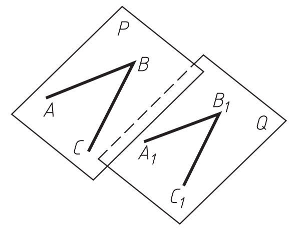


图 4-5　两平面平行

根据此几何定理，可在投影图上解决以下作图问题：

1）判别两平面是否平行。

2）过定点作平面平行于已知平面。

例 4-4　判别由 $\triangle ABC$ 和 $\triangle DEF$ 所表示的两平面是否互相平行，见图 4-6。

分析：

先在一个平面内取一对相交直线，然后在另一平面内看能否作出一对相交直线与第一对相交直线对应平行。如能作出，则表示该两平面互相平行，否则就不平行。为了作图方便，通常取投影面平行线。

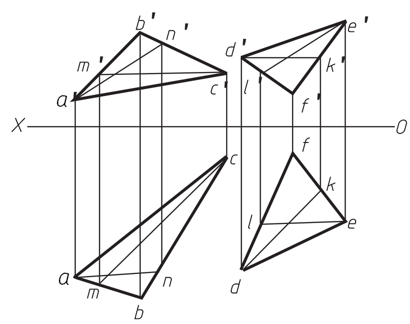


图 4-6　判别两平面是否平行

作图：

1）在 $\triangle ABC$ 内作相交直线：正平线 $AN(an$ 和 $a'n'$ 且 $an /\!/ OX$ 轴）和水平线 CM（cm 和 $c'm'$，$c'm' /\!/ OX$ 轴）。

2）在 $\triangle DEF$ 内作两相交直线：正平线 $EL(el$ 和 $e'l'$，$el /\!/ OX$ 轴）和水平线 $DK(dk$ 和 $d'k'$，$d'k' /\!/ OX$ 轴)。

3）由于 $a'n' /\!/ e'l'$，$an /\!/ el$；同时另一组投影 $c'm' /\!/ d'k'$，$cm /\!/ dk$，故 $\triangle ABC /\!/ \triangle DEF$。

本题也可以在一个平面内的某一投影上取一对相交直线，使其与另一平面内的两条已知边对应地平行，然后检查在第二个投影上是否也有相同的平行关系，如果在两个同面投影上都相互平行，则表示两平面互相平行，否则就不平行。

例 4-5　过 K 点作平面平行于已知平面 $\triangle ABC$，见图 4-7a。

分析：

过点作平面平行于 $\triangle ABC$ 平面时，只要过已知点作两相交直线分别平行于 $\triangle ABC$ 的任意两边即可。

作图：见图 4-7b。

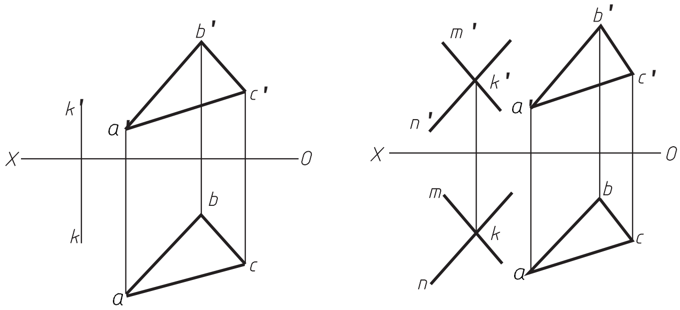
1）过 K 点作直线 KM 平行于三角形的 BC 边，即作 $k'm' /\!/ b'c'$、$km /\!/ bc$。

2）再过 K 点作直线 KN 平行于 AB 边，即作 $k'n' /\!/ a'b'$，$kn /\!/ ab$。

则过 K 点的两相交直线 KM 和 KN 所决定的平面一定平行于 $\triangle ABC$，故为所求。

对于两个同一投影面的垂直面，只要具有积聚性的两个投影互相平行，则两平面平行，否则两平面

不平行。如图4-8中△*ABC*及四边形*DEFG*均为铅垂面，因其有积聚性的水平投影互相平行，所以此两平面必互相平行。反之，对于两个同一投影面的垂直面互相平行，则它们具有积聚性的同面投影必然互相平行。



a)　　b)

图4-7　过*K*点作△*ABC*的平行面

a）给题　b）求解

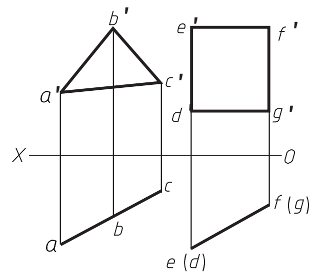


图4-8　两铅垂面平行

第三节　直线、平面的相交关系

直线与平面、平面与平面不平行，则必相交。

直线与平面相交，只有一个交点，它既在直线上，又在平面上，因而交点是直线与平面的共有点。

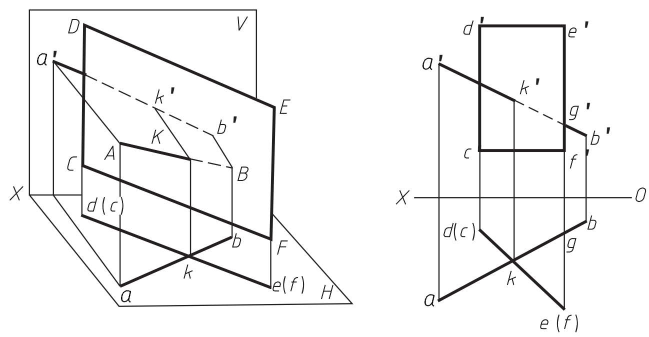
两平面相交，则有交线，它是两平面的共有线，求作两平面的交线，只要作出交线上的两个共有点或者一个共有点和交线的方向均可确定，因而求作两平面的交线，可归纳为求直线与平面的交点的作图。

求直线与平面的交点的一般方法是辅助平面法，但当平面有积聚性时可以直接求得。

下面介绍求交点、交线的方法。

一、一般位置直线与特殊位置平面相交

由于特殊位置平面的某些投影有积聚性，交点可直接求出，如图4-9a所示，直线*AB*与铅垂面*CDEF*相交，交点*K*即是*AB*直线与*CDEF*平面的共有点。如图4-9b所示，因铅垂面*CDEF*的水平投影积聚成直线$d(c)\ e(f)$，所以，交点*K*的水平投影为*ab*与$d(c)\ e(f)$两直线的交点*k*，由*k*可求出其正面投影k'。即求出了直线*AB*与铅垂面*CDEF*的交点*K*（k，k'）。



a)　　b)

图4-9　直线与特殊位置平面相交

a）直观图　b）投影图

求出交点后，为了增强图形的清晰性和直观性，还需对直线和平面（或面、面）投影的重叠部分判别它们的可见性。而线、面的交点（或面、面的交线）是可见与不可见的分界点（分界线）。在图4-9b中，水平投影均为可见，并观察水平投影可知，*ak*位于$d(c)\ e(f)$的左前方，所以正面投影中$a'k'$为可见，而$k'b'$与$c'd'e'f'$重叠部分$k'g'$一段为不可见，应画成虚线。

二、投影面垂直线与一般位置平面相交

如图4-10a所示，*AB*直线为铅垂线，其水平投影有积聚性。因为*AB*线与△*CDE*平面的交点在*AB*

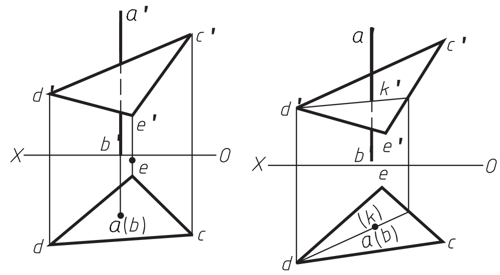
线上，故交点 K 的水平投影 k 必在 AB 线的水平投影 $a(b)$ 上。因此，交点的水平投影是已知的。交点 K 又在△CDE 平面内，故由 K 的水平投影 k 利用面内取点的方法，即可求得交点 K 的正面投影 k'，见图 4-10b。

可见，求某一投影面垂直线与一般位置平面相交的交点，可归结为在面上取点。

三、一般位置平面与特殊位置平面相交

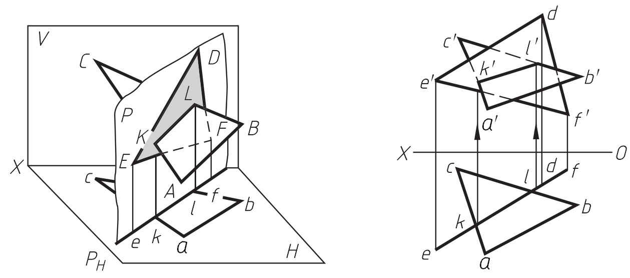
通常把求两平面交线的问题看作是求两平面共有点的问题。欲求图 4-11a 中两平面△ABC 和△DEF 的交线，只要求出交线上两点就可以了，如 AC、BC 两边与△DEF 的交点 K 和 L。

因为△DEF 是铅垂面，如前面已讨论过，利用其投影有积聚性的便利条件，可直接求出它与直线 AC 和 BC 的交点 K 和 L，连接 K 和 L，即为两平面的交线，具体作图见图 4-11b。



a)　b)

图 4-10　铅垂线 AB 与△CDE 平面相交
a）先求水平投影　b）面上取点求正面投影



a)　b)

图 4-11　△ABC 平面与特殊位置平面相交
a）直观图　b）投影图

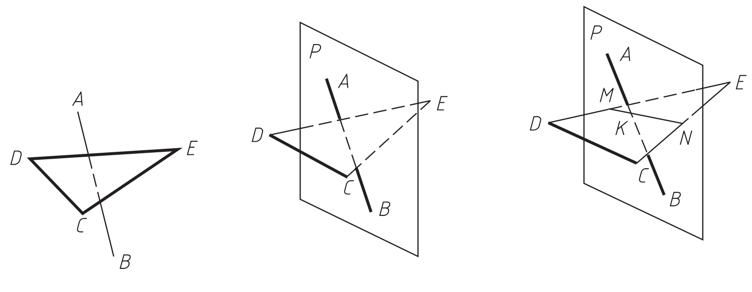
四、一般位置直线与一般位置平面相交

由于直线与平面均处于一般位置，见图 4-12a，其投影都没有积聚性，所以这种情况，不能在图上直接定出交点来，要求出交点 K 可以这样考虑：

1）包含 AB 直线作辅助平面 P，见图 4-12b。

2）求出辅助平面 P 与△CDE 的交线 MN，见图 4-12c。

3）求出 AB 直线与 MN 线的交点 K，则点 K 既在直线 AB 上，又在直线 MN 上，即在△CDE 上，故 K 点即为 AB 直线与△CDE 平面的交点。



a)　b)　c)

图 4-12　一般位置直线与一般位置平面相交
a）给题　b）过 AB 作辅助平面 P　c）求 P 与△CDE 交线，再求与 AB 的交点 K

例 4-6　求 AB 直线与△DEF 平面的交点，如图 4-13a 所示。

作图：

1）包含 AB 直线作辅助铅垂平面 P，以 P 平面的水平迹线 P_H 表示此平面，见图 4-13b。

2）求 P 平面与△DEF 的交线 MN，见图 4-13b。

3）$m'n'$ 与 $a'b'$ 的交点 k'，即是交点 K 的正面投影，然后由 k' 求出 k，见图 4-13b。

4）判别可见性，见图 4-13c。

由于直线 AB 与△DEF 各边均交叉，可用观察重影点的方法来判断可见性。图 4-13c 中直线 AB 上的Ⅰ(1，1′) 点和 DF 上的Ⅱ(2、2′) 点的正面投影重影，从水平投影看Ⅰ点在前，Ⅱ点在后，在正面投影中 1′点可见，2′点不可见，应记为 1′(2′)，故知 1′k' 为可见，画成粗实线，而另一段与△DEF 重叠的部分为不可见，应画成虚线。

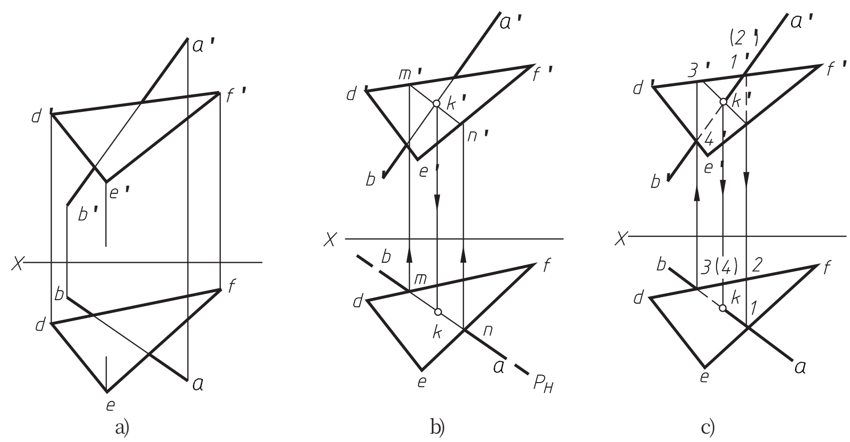


图4-13　用辅助画法求直线与平面的交点

a）给题　b）求交点 K　c）判别可见性

同理，利用 DF 边与 AB 直线的重影点3(4)，可以判断在 AB 直线的水平投影中，ak 一段为可见，应画成粗实线，而另一段与△DEF 重叠的部分为不可见，应画成虚线。

五、两个一般位置平面相交

1. 用求一般位置直线与平面的交点的方法求两平面的交线

对两个一般位置平面相交来说，可用求一平面内的直线与另一平面的交点的方法（辅助平面法），来确定共有点，求得两个共有点的连线即为所求的两平面的交线。

例4-7　求△ABC 与△DEF 的交线，见图4-14a。

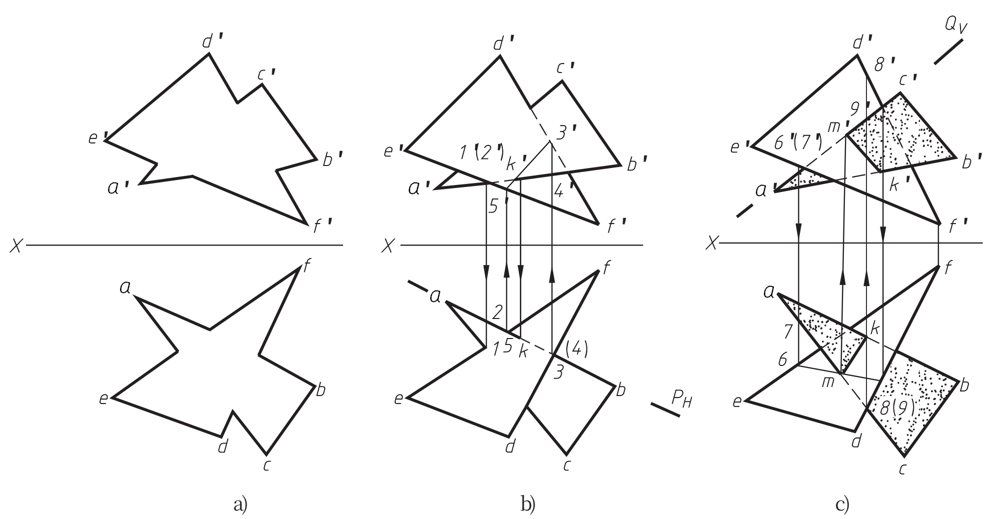


图4-14　求△ABC 与△DEF 的交线

a）给题　b）求 AB 与△DEF 的交点 K　c）求 AC 与△DEF 的交点 M

分析：

除平行以外，一个三角形平面的各边与另一个三角形平面必定相交。因此，任取一个三角形平面的一边，一般均可求出这条边与另一个三角形平面的交点。同理可求得另一个交点，则两点连线即为所求的交线。

作图：

1）过△ABC 的 AB 边作铅垂面 P_H，求得 AB 边与△DEF 的交点 $K(k、k')$，并判别 AB 边的可见性，见图4-14b。

2）过△ABC 的 AC 边作正垂面 Q_V，求得 AC 边与△DEF 的交点 $M(m、m')$，并判别 AC 边的可见性，见图 4-14c。

3）连接 K、M 的同面投影，即得所求交线 $KM(km、k'm')$。

4）判别两平面的可见性。投影图上两个三角形平面未重叠部分均是可见的，交线的各投影也是可见的，它是两个三角形重叠部分中可见与不可见部分的分界线。根据直线 AB、AC 的可见性判别，可判定两三角形平面的可见性，见图 4-14c。

2. 利用三面共点的方法求两平面的交线

在图 4-15a 中，△ABC 和 DE、FG 两平行直线各决定一个一般位置平面，两者在有限范围内不相交。为了求出它们的交线，可作辅助平面 P 与两平面分别相交于ⅠⅡ和ⅢⅣ，由于这两条交线在同一平面上，因此，将它们延长后如不平行，则一定相交于一点，如 K_1，且 K_1 点必为两平面的共有点。用同样方法再作辅助平面 Q，可求得另一共有点 K_2，连接直线 K_1K_2，即为所求交线。其投影图的作法见图 4-15b。先由 12 与 34 分别延长相交，得到的交点 k_1 即为共有点 K_1 的水平投影，由 k_1 求出其正面投影 k_1'。同理，由 56 与 78 分别延长相交，得到的交点 k_2 即为共有点 K_2 的水平投影，由 k_2 求出其正面投影 k_2'。连接两个共有点的同面投影得 k_1k_2、$k_1'k_2'$ 即为所求交线 K_1K_2 的两投影。K_1K_2 为两平面扩大后的交线位置，故不必判别投影的可见性。

为了作图方便，通常采用如图 4-15 所示的投影面平行面作为辅助面。

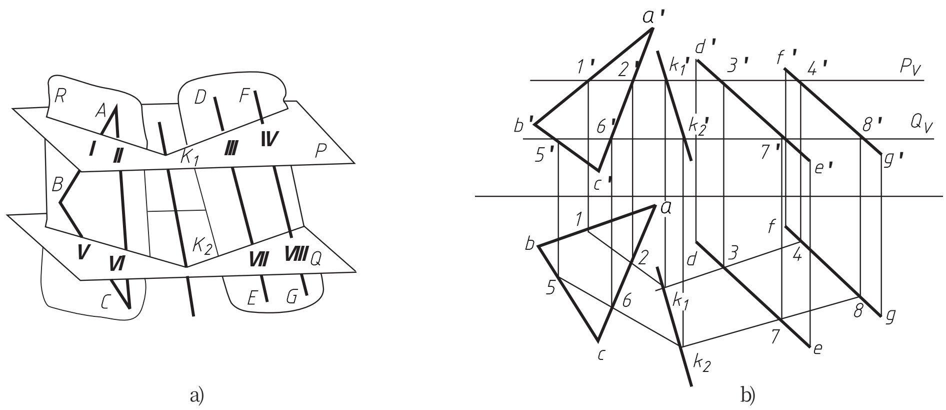


图 4-15　用三面共点法求两平面的交线

a）直观图　b）求交线

第四节　直线、平面的垂直关系

一、直线与平面垂直

垂直于平面的直线，称为该平面的垂线或法线，直线与平面垂直是直线与平面相交的一种特殊情况。这里主要讨论直线与平面垂直时的投影特点及在投影图上定出平面的法线的方向问题。

由初等几何学知道：若一直线垂直于平面内的任意两条相交直线（不论交点是否为垂足），则该直线垂直于此平面，同时，垂直于平面内的一切直线。

如图 4-16a 中直线 $MK \perp AD$，$MK \perp EF$，则 $MK \perp$ △ABC 平面，同时，MK 垂直于该平面内的一切直线。

根据直角投影定理可知：如果一直线垂直于一平面，则该直线的水平投影一定垂直于该平面内任一水平线的水平投影。直线的正面投影一定垂直于该平面内任一正平线的正面投影。如图 4-16b 中，直线 $MK \perp$ △ABC，则 $m'k' \perp e'f'$，$mk \perp ad$。

反之，若一直线的水平投影垂直于定平面内的水平线的水平投影，直线的正面投影垂直于定平面内

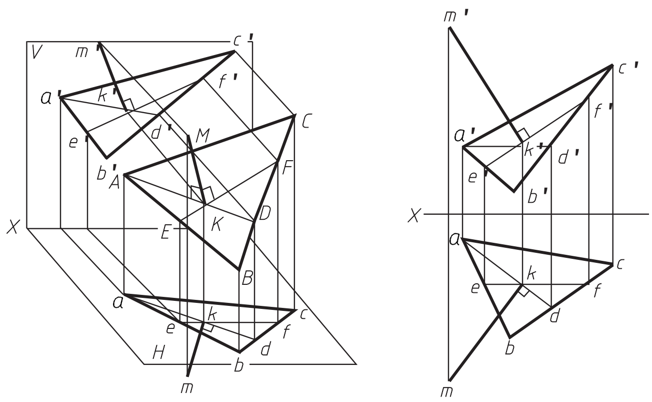
的正平线的正面投影，则直线必垂直于该平面。即 $m'k' \perp e'f'$，$mk \perp ad$，则 $MK \perp \triangle ABC$。

例 4-8　已知正垂面 *ABCD* 和平面外一点 *M* 的正面投影和水平投影，见图 4-17a。求 *M* 点到正垂面 *ABCD* 的距离，并求其垂足。

分析：

若一直线与平面垂直，而该平面又垂直于某一投影面时，则直线必平行于该投影面。图中 *ABCD* 为一正垂面，故过 *M* 点作它的垂线必为正平线，它的正面投影与正垂面 *ABCD* 的正面投影成直角。

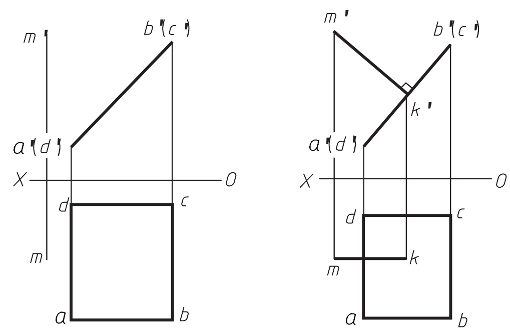
作图：见图 4-17b。



a)　　b)

图 4-16　直线与平面垂直

a）直观图　b）投影图



a)　　b)

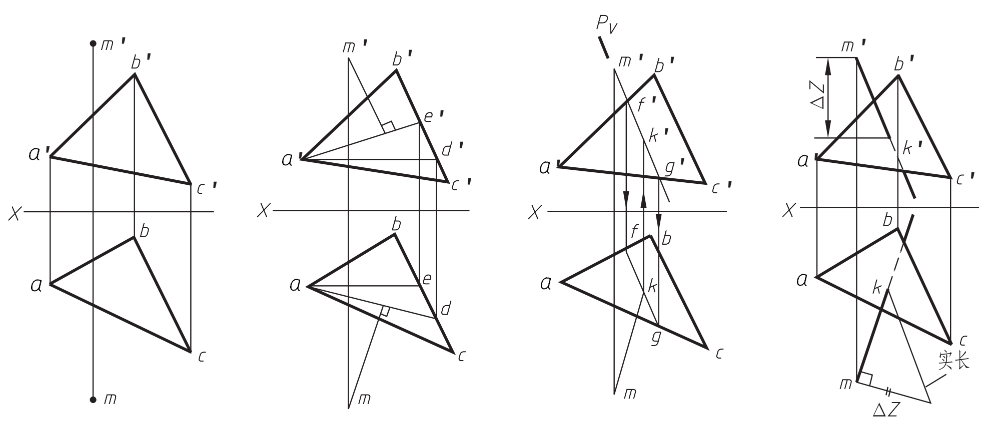
图 4-17　求 *M* 点到 *ABCD* 平面的距离

a）给题　b）求解

1）由 *M* 点的正面投影 m' 向 $a'b'c'd'$ 作垂线，并交于 k' 点，$m'k'$ 为垂线的正面投影，由于 $a'b'c'd'$ 有积聚性，故 k' 即为垂足 *K* 的正面投影。

2）根据分析 *MK* 为一正平线，故过 *m* 点作一直线 *mk* 平行于 *OX* 轴，并由 k' 作 *OX* 轴的垂线 $k'k$，两直线的交点 *k* 为垂足 *K* 的水平投影。则 $m'k'$ 反映 *MK* 的实长，即为所求的距离。

例 4-9　已知△*ABC* 平面和平面外一点 *M* 的两个投影，见图 4-18a，求 *M* 点到△*ABC* 平面的距离。



a)　　b)　　c)　　d)

图 4-18　求 *M* 点到△*ABC* 平面的距离

a）给题　b）作垂线　c）求垂足　d）求距离的实长

分析：

由于△*ABC* 为一般位置平面，则由 *M* 点作△*ABC* 平面的垂线也是一般位置直线，求出垂线与平面的垂足 *K* 后，利用直角三角形法求出 *MK* 的实长，即为所求。

作图：

1）在△ABC 内作水平线 AD（ad、$a'd'$）和正平线 AE（ae、$a'e'$），见图 4-18b。

2）自 M 点向△ABC 作垂线，即过 m'作直线垂直 $a'e'$，过 m 点作直线垂直 ad，见图 4-18b。

3）利用求直线与一般位置平面交点的一般方法，求出垂线与平面的垂足 K，见图 4-18c。

4）用直角三角形法求出垂线 MK 的实长，即为 M 点到△ABC 的真实距离，见图 4-18d。

应注意：辅助线 AD 和 AE 不是过垂足的直线，因此，垂线 MK 和它们是不相交的。此处仅利用 AD 和 AE 的方向来确定垂线 MK 的方向而与垂足无关。垂线与平面的交点即垂足 K 必须按直线与平面相交求交点的作图过程求得。

二、平面与平面垂直

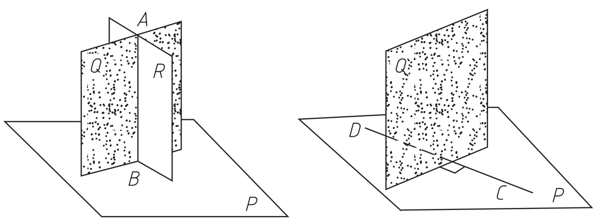
两平面垂直相交是两平面相交的一种特殊情况，在解决两平面的互相垂直问题时，立体几何中有下述定理：若直线垂直于平面，则包含此直线的一切平面都与该平面垂直。

由此可知，绘制相互垂直的平面有两种方法：

1）使平面经过垂直于已知平面的直线，见图 4-19a。

2）使平面垂直于已知平面内的一直线，见图 4-19b。

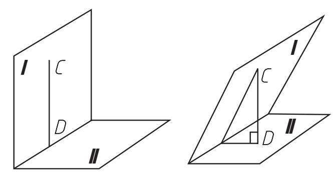
反之，如两个平面互相垂直，则由第Ⅰ平面内的任意一点向第Ⅱ平面所作的垂线一定在第Ⅰ平面内，如图 4-20a 中，Ⅰ平面垂直于Ⅱ平面，故从Ⅰ平面内的 C 点作Ⅱ平面的垂线 CD，定在Ⅰ平面内。若 CD 不在Ⅰ平面内，则Ⅰ、Ⅱ两平面肯定不垂直，见图 4-20b。



a)　b)

图 4-19　平面与平面互相垂直

a）$AB \perp P$，则 $Q \perp P$、$R \perp P$　b）$Q \perp CD$，则 $Q \perp P$

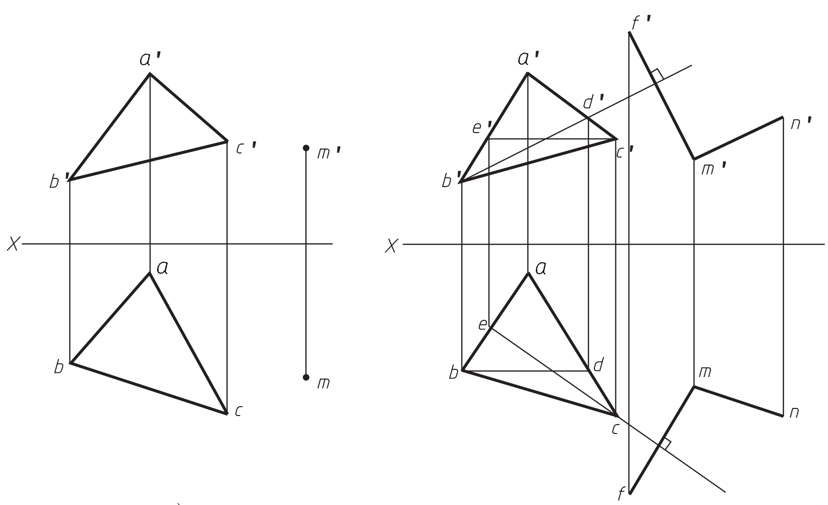


a)　b)

图 4-20　判别两平面是否垂直

a）两平面垂直　b）两平面不垂直

例 4-10　过定点 M 作平面垂直于△ABC 平面，见图 4-21a。



a)　b)

图 4-21　过定点作平面的垂直面

a）给题　b）求解

作图：见图4-21b。

1）首先过点 M 作△ABC 的垂线 MF（mf、$m'f'$），参见图4-21b。

2）由于包含垂线 MF 的一切平面均垂直于△ABC，所以可作任意一直线 MN（mn、$m'n'$）与 MF 直线相交。则相交两直线 MN、MF 所确定的平面即为所求。

由于直线 MN 为任意作出的，故本题有无穷个解。

例4-11　试判别△GMN 与相交两直线 AB、CD 所给定的平面是否垂直，见图4-22。

作图：

1）过△GMN 内任意一点（如 M 点）作 AB 和 CD 所确定的平面的垂线 MS。

2）从图中可看出 MS 不在△GMN 内，所以两平面不垂直。

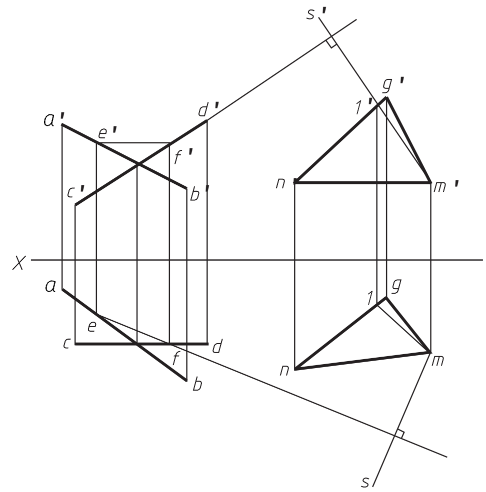


图4-22　判别两平面是否垂直

例4-12　试过 A 点作直线与已知一般位置直线 EF 正交，见图4-23a。

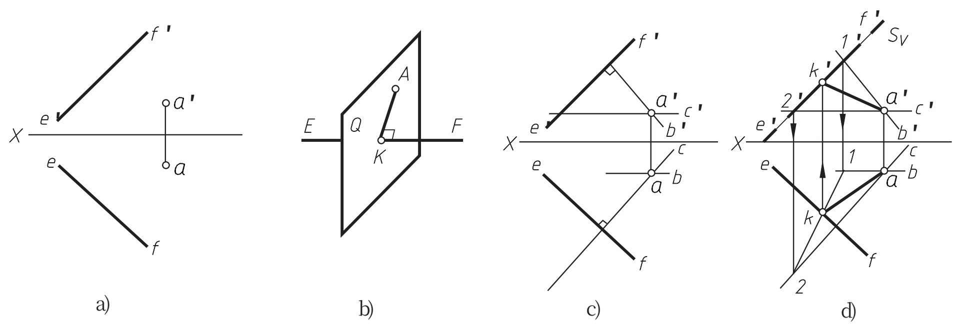


图4-23　过定点作直线与一般位置直线正交

a）给题　b）直观图　c）过 A 点作 EF 线的垂直面　d）求垂足 K 得垂线 AK

分析：

根据给出的投影图4-23a，直线 EF 处于一般位置，故垂直于 EF 的直线一般也处于一般位置。由直角投影的特性可知，若两一般位置直线在空间垂直相交，则此两直线的同面投影的交角都不等于直角。因此，在投影图上，如果要过定点作一般位置直线的垂线时，无法从已知的投影直接作出。

解决这个问题，要用上述直线和平面相互垂直的原理，作垂直于直线的辅助面。如图4-23b所示，若有直线 $AK \perp EF$，则 AK 必在垂直于 EF 的平面 Q 内。因此，应先过定点 A 作 EF 的垂直面 Q，再求出 EF 与平面 Q 的交点 K，连直线 AK 即为所求。

作图：

1）过点 A 作垂直于直线 EF 的辅助平面，该平面由水平线 AC 和正平线 AB 给定，见图4-23c。

2）求辅助平面与直线 EF 的交点。为此，过 EF 作辅助正垂面 S（图中以 S_V 表示），求出交点 K（k、k'），并连接 AK（ak、$a'k'$），即为所求，见图4-23d。

第五节　点、线、面综合题的解法

解答点、线、面综合题，如求空间几何元素的交点、交角或确定其自身位置等定位问题，以及求某些几何元素的实长、实形、距离、角度、等度量问题时，情况往往比较复杂，解题过程中常常要遇到几何元素间的多种相对位置关系，需运用求它们的交点、交线等多种基本作图原理和方法。因此，应善于

依照题目中的已知条件，按严密的逻辑推理，通过一系列分析、综合，找出已知条件与求解之间的关联因素，以确定解题方案，并求得最终所需的答案。

一、常用的基本作图原理和方法

解题时，常用的基本作图原理和方法，除了点、直线、平面的投影规律和投影特性外，还要熟练掌握以下基本作图原理和方法。

1）用直角三角形法求线段的实长和对投影面的倾角。

2）点将线段定比分割。

3）一条边平行于投影面的直角投影定理。

4）平面上取点、取直线。

5）过点或直线作平面。

6）作平面的最大斜度线。

7）两直线间的相对位置关系（平行、相交、交叉）。

8）直线与平面之间的相对位置关系（平行、相交、垂直）。

9）平面与平面之间的相对位置关系（平行、相交、垂直）。

二、解题的一般步骤

1. 弄清题意

解题时，应首先分清哪些是已知条件，它是解题的依据和出发点，哪些是所求的问题，它是思考的方向。

2. 空间分析

综合分析已知条件和所求问题。根据几何元素之间的从属关系和相对位置关系，拟出空间解题方案，明确解题思路、方法和步骤。当一个题目可用多种解法时，应尽量使用较简便的方法。由于每一个基本作图（如求线、面的交点，过点向面作垂线等）方法中又有几个作图步骤，因此，在拟定空间解题方案的步骤时，要分清层次和枝干关系，主要是拟定出大的解题步骤，这是解题的关键一步。

对于某些复杂的综合题，为了帮助分析，借助于简单的用具（铅笔、三角板等），比拟空间几何元素之间的相对位置关系，建立空间几何模型，有助于启发解题思路和方法。

3. 投影分析

分析各几何元素的投影面之间的相对位置及其投影特性，从而选择、确定作图方法。特别要注意的是：充分利用特殊位置几何元素的投影特性，以达到简化作图的目的。

4. 拟定解题方法

点、线、面综合题常用的解题方法有：轨迹法、变形法、逆推法和第三投影法等。下面将分别介绍其具体方法并举例说明。

三、解题示例

1. 轨迹法

当题目要求的解答必须满足几项要求时，应该把题目的要求进行分解，即分别作出满足题目各项要求的轨迹，再求出这些轨迹的交点或交线等即得所求。

轨迹法的解题思路是：先考虑满足求解的某一要求，引出所有可能的解（一个轨迹），再一一引进其他要求（其他轨迹），并从中找出能同时满足这些要求的答案（几个轨迹的交点、交线）。

利用轨迹法作图，只是求解综合性问题的一个手段，根据不同题目，仍然需要结合应用其他图解法。

例 4-13　过点 A 作一直线与两直线 BC、DE 相交，见图 4-24a。

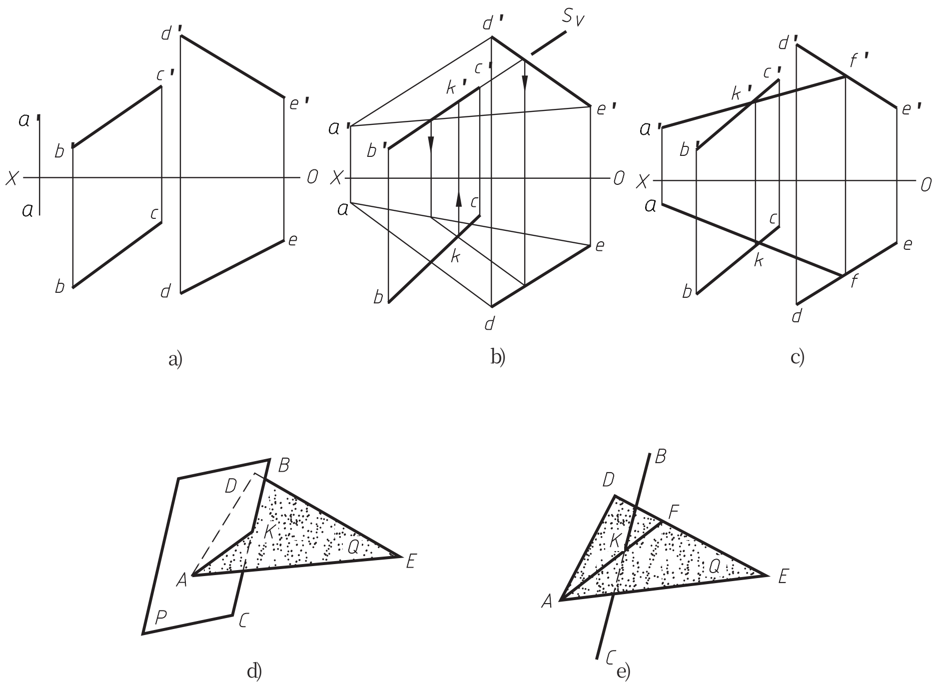


图4-24　过 A 点作一直线与 BC、DE 相交

a）给题　b）求 BC 与△ADE 交点 K　c）连 AK 即为所求　d）空间分析直观图　e）求解直观图

分析：

过点 A 与 BC 相交的直线的轨迹为由 A 点与 BC 线所确定的平面 P；过点 A 与 DE 线相交的直线的轨迹是由 A 点与 DE 线所确定的平面 Q，见图4-24d。

同时满足以上两个条件的直线就是 P、Q 两平面的交线。为了简化作图，不必作出 P、Q 两平面及其交线，而只需求出 BC 与 Q 面（△ADE）的交点 K，连接 AK，它一定与 BC、DE 都相交，见图4-24e。

作图：

1）连接 AE、AD 得平面△ADE（△$a'd'e'$、△ade），过 BC 作正垂面 $S(S_V)$ 求得 BC 线与△ADE 的交点 $K(k'$、$k)$，见图4-24b。

2）连接 $AK(a'k'$、$ak)$，并延长 AK，与 DE 直线相交于 $F(f'$、$f)$，见图4-24c。则直线 $AKF(a'k'f'$、$akf)$ 即为所求。

例4-14　已知直线 AG、EF 和△MNH 的两投影，见图4-25a，试作一平行四边形 $ABCD$，使 AB 边平行于△MNH，点 B 在直线 EF 上，D 点在直线 AG 上，对角线 BD 垂直于 AG。

分析：见图4-25b。

AB 边平行于△MNH，则 AB 边必在过点 A 且平行于△MNH 的平面 P 上（AB 线的轨迹）；点 B 在 EF 上，则点 B 必是平面 P 与直线 EF 的交点；BD 垂直于 AG，则 BD 必在过 B 点，且垂直于 AG 的平面 Q 上（BD 线的轨迹）；而点 D 在直线 AG 上，所以点 D 必是平面 Q 与 AG 线的交点。至此已求得 A、B、D 三点，即求得 AB 和 AD 两邻边，再根据平行四边形对边平行的原理即可作出平行四边形 $ABCD$。

作图：见图4-25c。

1）过 A 点作平面 P//△MNH，即过 A 点作正垂面 P，使其正面投影 P_V 平行于△MNH 的有积聚性的投影 $m'h'n'$（图中省略 P 平面的水平投影）。

2）求出直线 EF 与平面 P 的交点 $B(b$、$b')$，并连接 $AB(ab$、$a'b')$。

3）过 B 点作平面 Q（ⅠBⅡ）垂直于 AG。

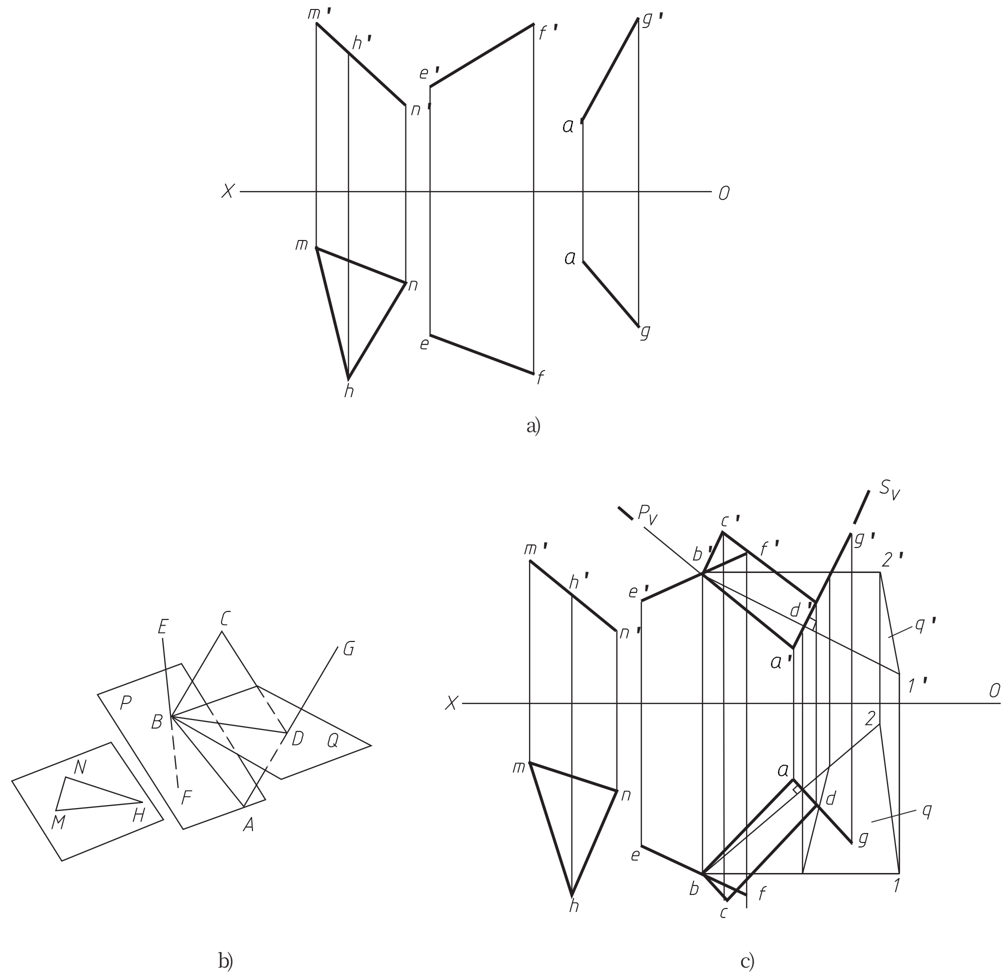


图 4-25　作平行四边形 *ABCD*

a）给题　b）空间分析直观图　c）求解投影图

4）过 *AG* 作辅助正垂面 *S*，求出平面 *Q* 与 *AG* 的交点 *D*。

5）过 *D*、*B* 作 *DC*、*BC* 分别平行于 *AB*、*AD*，交于点 *C*，则平行四边形 *ABCD* 即为所求。

2. 实形法

空间几何问题的解，常存在于相关元素所决定的平面之中，例如点到直线的距离，两条平行线的间距，两条相交直线的夹角，过点作直线与已知直线相交成定角等。上述已知相关元素都可决定一个平面，其解存在于该平面之中，故称为共面问题，一旦求出平面的实形，问题就迎刃而解。

实形法的解题思路是：应首先求出共面的几何元素的实形，并在实形图上用几何作图的方法求解，再将所求得的几何元素返回到原投影体系中去。

例 4-15　已知$\triangle ABC$（$\triangle abc$、$\triangle a'b'c'$），见图 4-26a，求作 *A* 角的角平分线。

分析：见图 4-26c。

求出$\triangle ABC$ 的实形，便可在实形图上作出 *A* 角的角平分线，再返回到投影图上即得所求。

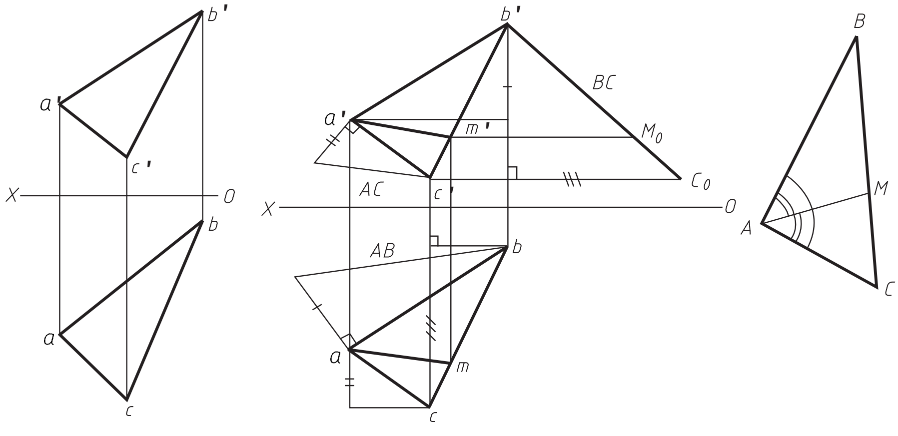
作图：

1）用直角三角形法求出$\triangle ABC$ 各边的实长，见图 4-26b。

2）作出$\triangle ABC$ 的实形，在$\triangle ABC$ 中作出 *A* 角的角平分线 *AM*，交 *BC* 边于 *M* 点，见图 4-26c。

3）在图 4-26b 中的 $b'C_0$ 上，自 b'点量取线段 $b'M_0 = BM$。

4）自 M_0 点作直线平行于 $c'C_0$，交 $b'c'$于 m'点，由 m'点求出 m，则 AM（am、$a'm'$）即为所求的 *A*



a) b) c)

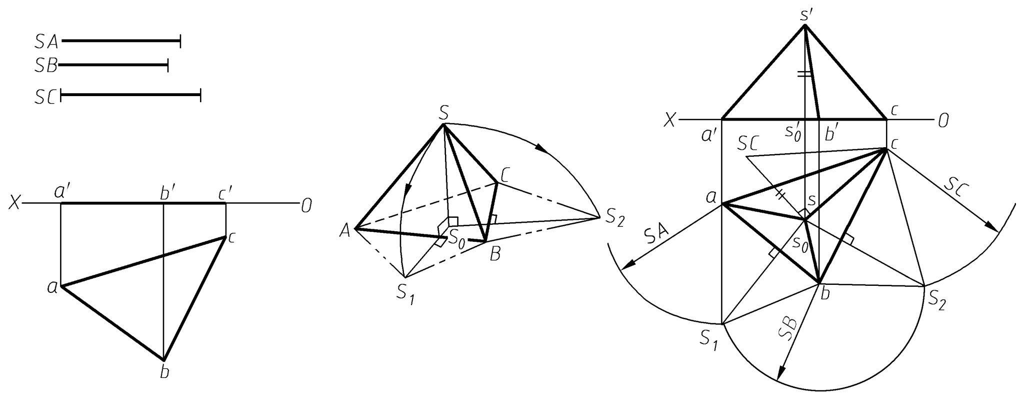
图 4-26 求作 A 角的角平分线

a）给题 b）求出△ABC 边长 AB、BC 和 AC c）在△ABC 实形中作 A 角平分线

角的角平分线。

本题若用投影变换的方法求解，则将更为方便，详见第五章。

例 4-16 已知三棱锥的底面△ABC 及侧棱的长度，见图 4-27a，求作三棱锥的两面投影。



a) b) c)

图 4-27 作三棱锥的投影

a）给题 b）三棱锥空间分析 c）求解

分析：

如图 4-27b 所示，因为三棱锥底面实形△ABC≌△abc，且三侧棱实长均为已知，所以可作出三棱锥各侧面的实形△S_1AB≌△SAB、△S_2BC≌△SBC 和△S_3CA≌△SCA（图中只画出了前两个三角形）。若将△S_1AB、△S_2BC 分别绕 AB、BC 旋转，则交于 S，S 即为所求三棱锥的锥顶，据此便可画出三棱锥 S-ABC。这里综合了两个共面问题。

作图：见图 4-27c。

1）以 b 为圆心，SB 为半径作圆弧，与以 a 为圆心，SA 为半径所作的圆弧交于点 S_1，与以 c 为圆心，SC 为半径所作的圆弧交于点 S_2，即得棱面 SAB 和 SBC 的实形 S_1ab 与 S_2bc。

2）过点 S_1、S_2 分别向 ab、bc 作垂线，并交于点 $s(s_0)$，即为所求三棱锥锥顶 S 的水平投影，连 sa、sb 和 sc，则可作出该棱锥的水平投影。

3）由于任一侧棱线的 Z 坐标差都等于锥高，而各棱线的实长及水平投影均为已知，故用直角三角形法即可求出锥高 SS_0 的正面投影 $s's'_0(s's'_0 \perp OX)$，连 $s'a'$、$s'b'$、$s'c'$，即为三棱锥的正面投影。

3. 逆推法

先假设所要求的解答已经作出，然后应用有关几何原理进行分析，反过来推断该解答必须具备的几何条件，并逐步分析和确定这些几何条件与已知条件间的联系，由此，得出解题方法与步骤。

例 4-17　作直线 *KL* 与两交叉直线 *AB*、*CD* 相交且垂直于△*EFG* 平面，见图 4-28a。

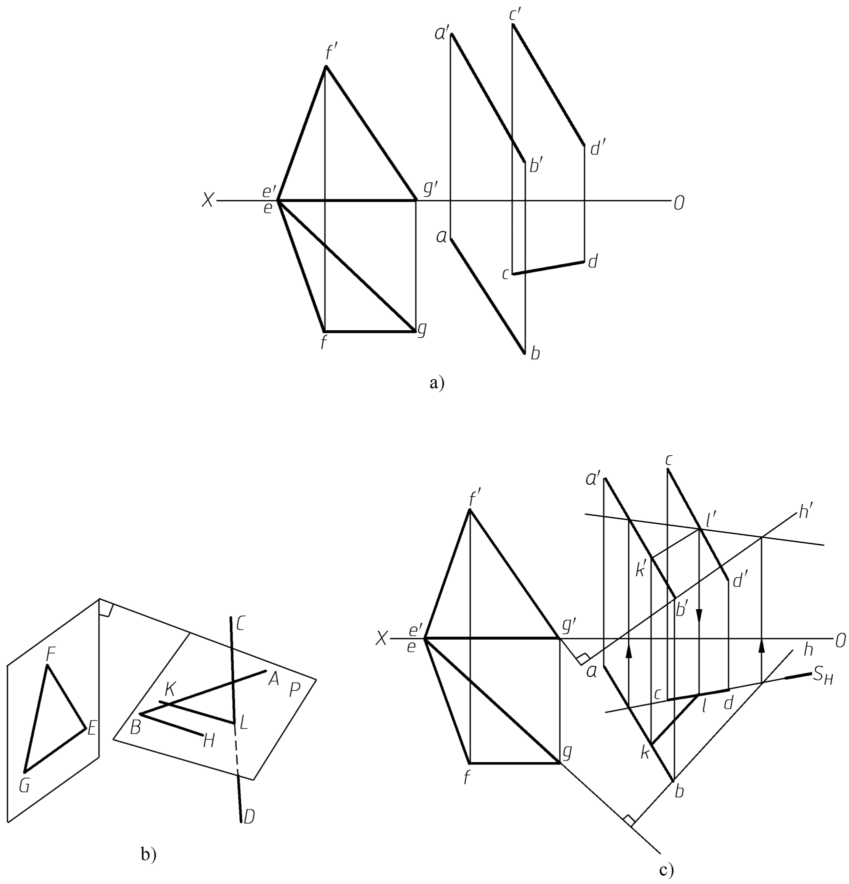


图 4-28　作直线垂直于△*EFG*，并与 *AB*、*CD* 相交

a）给题　b）空间分析直观图　c）求解

分析：

设直线 *KL* 已经作出，见图 4-28b，则 *KL* 与 *AB* 构成平面 *P*，由于 *KL*⊥△*EFG*，所以平面 *P*⊥△*EFG*，同时 *L* 为平面 *P* 与 *CD* 线的交点，过 *B* 点作 *BH*∥*KL*，则 *BH*⊥△*EFG*。而题给△*EFG* 的边线 *EG*、*FG* 为水平线和正平线，故可直接求出垂线的方向。

作图：见图 4-28c。

1）过 *B* 点作 *BH* 垂直于△*EFG*，则相交两直线 *AB*、*BH* 决定的平面 *P*⊥△*EFG*。

2）求平面 *P* 与 *CD* 线的交点 *L*。

3）过 *L* 点作 *KL*∥*BH*，交 *AB* 线于 *K*，则 *KL* 即为所求。

例 4-18　已知等边△*ABC* 的一边 *AB* 的两投影，见图 4-29a，而顶点 *C* 在 *H* 面上，试画出△*ABC* 的两投影。

分析：

设三角形顶点 *C* 已经作出，已知点 *C* 在 *H* 面上，点 *C* 的正面投影必然在 *X* 轴上，故可以得到 *A*、*C* 之间和 *B*、*C* 之间的 *Z* 坐标差这一隐蔽条件，再根据等边三角形三边相等的条件，在求出 *AB* 实长后，用直角三角形法、就可以求出 *AC*、*BC* 边的水平投影长度，从而求出△*ABC* 的两面投影。

作图：见图 4-29b。

1）用直角三角形法求出 AB 的实长。

2）以 AC 的 Z 坐标差为直角边，以 $AB=AC$ 长为斜边作一直角三角形，从而求得 AC 边的水平投影长度 a_xc_1，同理，求得 BC 边的水平投影长 b_xc_2。

3）作 $ac=a_xc_1$，$bc=b_xc_2$，完成 $\triangle ABC$ 的水平投影 $\triangle abc$。

4）由 c 求得 c'，连 $a'c'$ 和 $b'c'$，完成 $\triangle a'b'c'$。

4. 利用投影特性作图法（第三投影法）

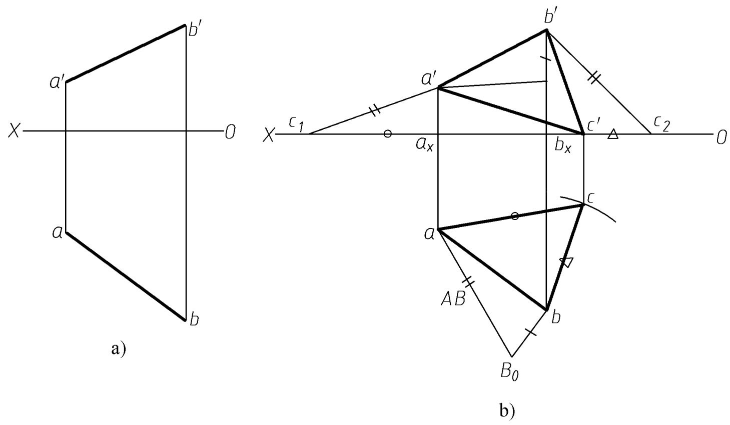


图4-29 画出等边三角形的两投影

a）给题 b）求作 $\triangle ABC$

对于某些画法几何问题，当已知条件或需求的解答中含有与某投影面处于特殊位置的几何元素时，例如，相对于侧面为特殊位置时，在正面投影和水平投影往往不能真实反映某些几何特性，则可利用侧面投影，再结合其他图解方法，使问题得到解决，这种利用第三投影解题的方法称为第三投影法。

例4-19 已知 AB、CD 两条管道，见图4-30a，现欲架一条与 H 面、V 面均平行的管道与之连接，试画出此管道的投影图。

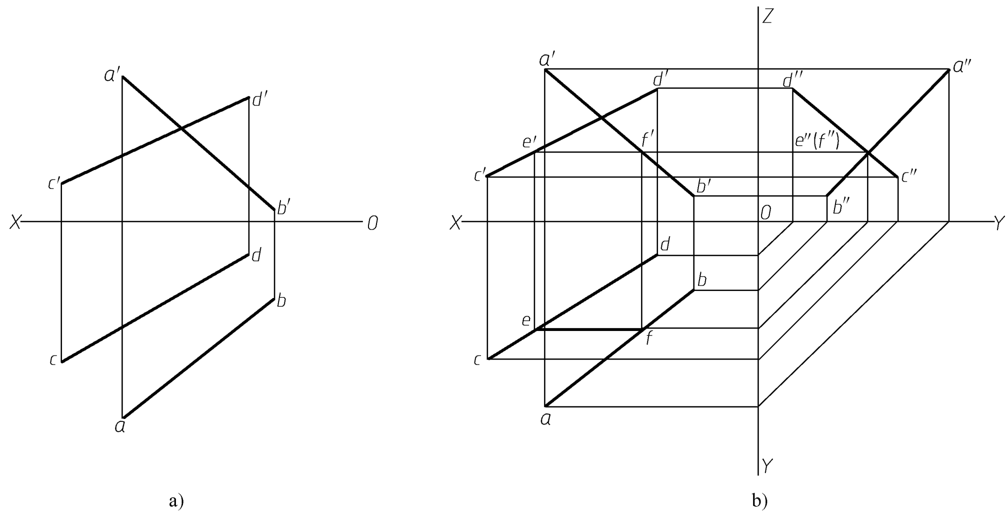


图4-30 用平行于 H、V 投影面的管道连接两管道

a）给题 b）求解

分析：

本题欲求的同时平行于 H 和 V 面的管道，它只能位于侧垂线位置，所以，它在 W 面上的投影积聚成一点，且此点必过 AB、CD 交叉两管道在 W 面上投影的重影点，故用第三投影法，先求出 AB、CD 两管道的 W 面投影，并沿重影点连接管道即可。

作图：见图4-30b。

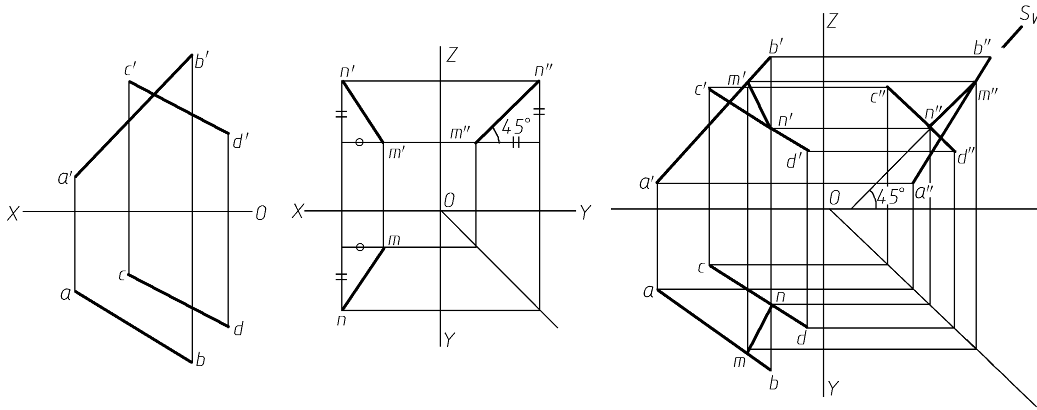
1）分别求出 AB、CD 两管道的侧面投影 $a''b''$、$c''d''$。

2）$a''b''$、$c''d''$ 的交点即为连接管道 EF 的侧面投影 $e''f''$。

3）由 $e''f''$ 求出 ef 和 $e'f'$。则 EF（ef、$e'f'$ 和 $e''f''$）即为所求的连接管道。

例4-20 作直线 MN 与 V、H 面成相同的倾角，且与已知直线 AB 及 CD 相交，见图4-31a。

分析：



a)　　b)　　c)

图 4-31　作直线与 V、H 面成等角且交于两直线

a）给题　b）投影分析　c）求解

如图 4-31b 所示，所求的直线为 MN，由于 $mm = MN\cos\alpha$，$m'n' = MN\cos\beta$，显然，欲使直线 MN 与 V、H 面成相同的倾角，即 $\beta = \alpha$，则其正面投影长与水平投影长必须相等。也就是要求 Y、Z 坐标差相等的直线，不难证明，只要位于 $\alpha = 45°$ 的侧垂面上的直线，均可满足条件。又该直线要与已知直线 AB 及 CD 相交，故可任作一 $\alpha = 45°$ 的侧垂面 S，并求出直线 AB、CD 与 S 面的交点，则两交点的连线，即为所求。

作图：见图 4-31c。

1）求出 AB、CD 的侧面投影 $a''b''$、$c''d''$。

2）任作一 $\alpha = 45°$ 的侧垂面 S，则 S_W 与 $a''b''$、$c''d''$ 分别交于 m''、n''，并求出 m、n 及 m'、n'。

3）连接 MN，即为所求直线。

此题有无数个解，直线 MN 对 H、V 面的倾角 α、β 一般小于 45°，当 MN 为侧平线时，则 $\alpha = \beta = 45°$；当 MN 为侧垂线时，则 $\alpha = \beta = 0$。

应当说明，以上介绍的解题的几种思考方法，一般不应截然分开，而应相辅相成综合运用。例如图 4-31 的解法，可以看作是逆推法和第三投影法的综合运用。

第五章　投 影 变 换

第一节　概　　述

通过前面章节的学习，知道当空间几何元素相对于投影面处于一般位置时，求解它们的定位和度量问题比较复杂。若空间几何元素相对于投影面处于特殊位置时，一些空间问题的求解就能得到简化，有利于解题。

如图 5-1a、c 所示，当△*ABC* 平面处于特殊位置时，其实形或线面交点可由投影直接求得。而如图 5-1b、d 所示处于一般位置时，则需要作图求解。由此得到启发：如果空间几何元素相对于投影面处于一般位置时，可设法改变几何元素对投影面的相对位置，使其由一般位置变换成有利于解题的特殊位置。投影变换就是研究如何改变空间几何元素与投影面的相对位置，从而达到简化解题的目的。

投影变换的方法较多，有换面法、旋转法、重合法和辅助投影法等。本章只介绍两种常用的方法。

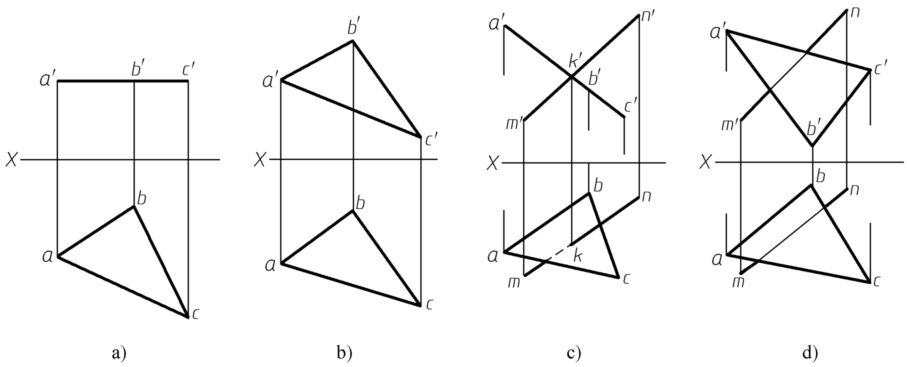


图 5-1　特殊位置与一般位置的比较

a）求平面实形（易）　b）求平面实形（难）　c）求线面交点 *k*（易）　d）求线面交点（难）

一、换面法

若空间几何元素的位置保持不变，根据题目的具体条件，选定一新投影面代替原来的某个投影面，使空间几何元素在新投影面体系中与新的投影面处于有利于解题的特殊位置，这种方法称为变换投影面法，简称换面法。

二、旋转法

若投影面的位置保持不变，而将空间几何元素绕着某一选定的轴旋转，使其旋转到有利于解题的特殊位置，这种方法称为旋转法。

第二节　换　面　法

一、换面法的基本概念

在图 5-2 中，设 *V* 与 *H* 面是原来的两投影面体系，用 *V*/*H* 表示。它们的交线 *X* 称为旧投影轴。

△ABC 平面在 V/H 两投影面体系中是一个铅垂面，它的两个投影都不反映实形。现用一个平行于该三角形，且与 H 面垂直的新投影面 V_1 来代替原来的 V 面，使△ABC 平面在 V_1 面上的投影△$a_1'b_1'c_1'$反映实形。此时 V_1 与 H 面组成一个新投影面体系，用 V_1/H 表示。它们的交线 X_1 称为新投影轴。

由此可见，用换面法解题时，新投影面的选择必须符合以下两个条件：

1）新投影面必须与空间几何元素处于有利于解题的位置。

2）新投影面必须垂直于原来投影面体系中的一个投影面，才能运用正投影原理来作图。

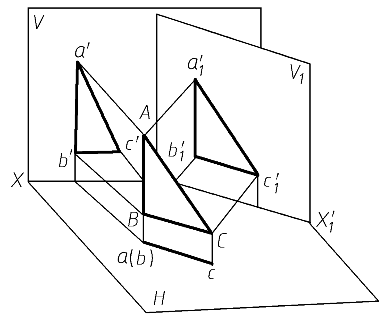


图 5-2　换面法

二、换面法的基本规律

点是最基本的几何元素，点的投影变换规律是换面法解题的作图基础。

1. 点的一次变换

（1）变换 V 面　如图 5-3a 所示，已知空间点 A 在 V/H 两投影面体系中，其水平投影为 a，正面投影为 a'。若以 V_1 面代替 V 面，组成一个新的两投影面体系 V_1/H，然后，将点 A 向 V_1 面作正投影，便得到点 A 在 V_1 面上的投影 a_1'，a_1'与 a 是点 A 在新投影面体系 V_1/H 中的两个投影。现在来分析新、旧投影之间的关系。显然在 V/H 和 V_1/H 两个体系中，点 A 到 H 面的距离（即 Z 坐标）是相同的，即 $a'a_x = Aa = a_1'a_{x1}$。此外，根据正投影原理，当 V_1 面绕 X_1 轴旋转到与 H 面重合时，a 与 a_1'的投影连线必定垂直于 X_1 轴。由此归纳出点在换面法中的投影变换规律：

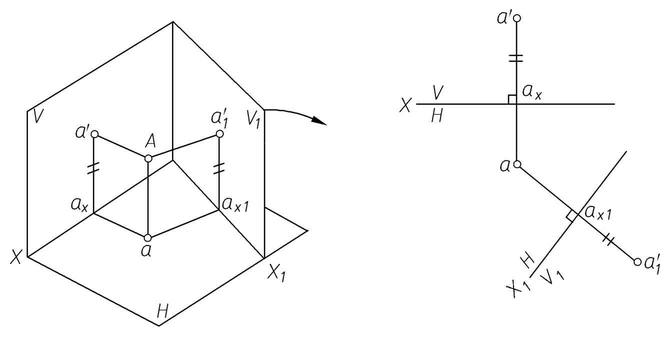


图 5-3　点的一次变换——变换 V 面

1）点的新投影 a_1'和不变投影 a 的连线垂直于新投影轴 X_1，即 $aa_1' \perp X_1$。

2）点的新投影 a_1'到新投影轴 X_1 的距离，等于被代替的旧投影 a'到旧投影轴 X 的距离，即 $a_1'a_{x1} = a'a_x$。

根据上述的投影变换规律，点在一次换面中的作图步骤见图 5-3b：

1）在适当位置作新投影轴 X_1，以 V_1 面代替 V 面，形成新体系 V_1/H。

2）过不变投影 a 向新投影轴 X_1 作垂线，得垂足 a_{x1}。

3）在垂线的延长线上截取 $a_1'a_{x1} = a'a_x$，从而得到 A 点在 V_1 面上的新投影 a_1'。

（2）变换 H 面　在图 5-4a 中，已知 A 点在 V/H 两投影面体系中的投影是 a 与 a'，现用 H_1 面代替 H 面，形成新体系 V/H_1。其作图步骤见图 5-4b：先作新投影轴 X_1，再过 a'向 X_1 轴作垂线，并在垂线的延长线上截取 $a_1a_{x1} = aa_x$，从而得到 A 点在 H_1 面上的新投影 a_1。

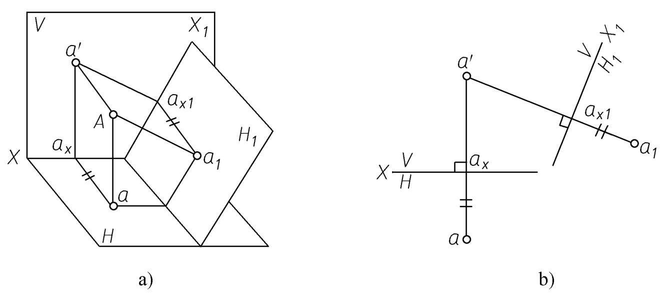


图 5-4　点的一次变换——变换 H 面

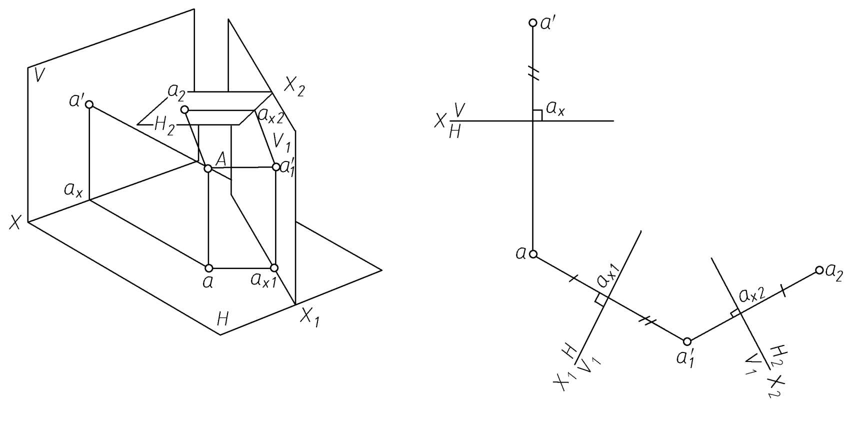
2. 点的多次变换

运用换面法解决实际问题时，有时通过一次变换不能解决问题，需要变换二次或多次才能得到解答。两次或多次换面的

作图方法与一次换面完全类同，但换面必须交替进行，如第一次由 V_1 面代替 V 面成为 V_1/H 体系，第二次应以 H_2 面代替 H 面，使两投影面体系变为 V_1/H_2，第三次再以 V_3 面代替 V_1 面而变为 V_3/H_2 体系，以此类推。此外，在变换的过程中，新旧投影、投影面、投影轴的概念是相对而言的，随变换过程而改变。譬如 X_1 轴在第一次变换中是新投影轴，但它在第二次变换时则成为旧投影轴。图 5-5 是点 A 的二次变换过程。其作图步骤如下：

1）作 X_1 轴，以 V_1 面代替 V 面。根据点的投影变换规律，作 $aa_1' \perp X_1$，$a_1'a_{x1} = a'a_x$，求得 A 点在 V_1 面上的新投影 a_1'。

2）作 X_2 轴，以 H_2 面代替 H 面，进行第二次变换。作 $a_1'a_2 \perp X_2$，$a_2a_{x2} = aa_{x1}$，求得点 A 在 H_2 面上的新投影 a_2。



a)　　　　b)

图 5-5　点的两次变换

点的两次变换也可以先变换 H 面，再变换 V 面。如果解题需要也可作多次变换。其作图过程由读者自己思考。

由于两点确定一直线，不在一直线上的三点确定一平面，因此掌握点的变换规律后，直线与平面的变换作图就有了基础。

三、四个基本问题

用换面法求解空间几何问题时，经常要碰到直线或平面的变换投影面问题，即怎样将一般位置的直线或平面，变换成与新投影面处于平行或垂直的位置。就其作图过程来看可以归纳为以下四个基本问题：

1）将一般位置直线变换成投影面平行线。

2）将一般位置直线变换成投影面垂直线。

3）将一般位置平面变换成投影面垂直面。

4）将一般位置平面变换成投影面平行面。

下面将换面法解决这四个基本问题的方法分述如下：

1. 将一般位置直线变换成投影面平行线

一般位置直线经过一次变换能使其成为新投影面的平行线。只要选择一个新投影面，使其与已知直线平行并垂直于原体系中保留的那个投影面，就可以实现这个变换。如图 5-6a 所示，直线 AB 是 V/H 体系中的一般位置直线，用一平行于直线 AB 并垂直于 H 面的 V_1 面来代替 V 面，使直线 AB 在 V_1/H 体系中变为 V_1 面的平行线，则直线 AB 在 V_1 面上的投影 $a_1'b_1'$ 反映直线 AB 的实长，而且 $a_1'b_1'$ 和 X_1 轴的夹角即为直线 AB 对 H 面的倾角。图 5-6b 是投影图，其作图步骤如下：

1）作 X_1 轴 $/\!/ ab$（X_1 轴与 ab 的距离大小根据图形布局要求确定，与解题结果无关）。

2）按点的变换规律变换直线的两端点 A 与 B，得到新投影 a_1'、b_1'。

3）连接 a_1'、b_1'，则 $a_1'b_1'$即为直线 AB 在 V_1 面上的新投影。它反映了直线 AB 的实长，它与 X_1 轴的夹角 α 即为直线 AB 对 H 面的倾角。

如果需要求直线 AB 的实长及其对 V 面的倾角 β，则新投影轴 X_1 必须平行于 $a'b'$，即保留 V 面，而用 H_1 面代替 H 面。望读者自行作图。

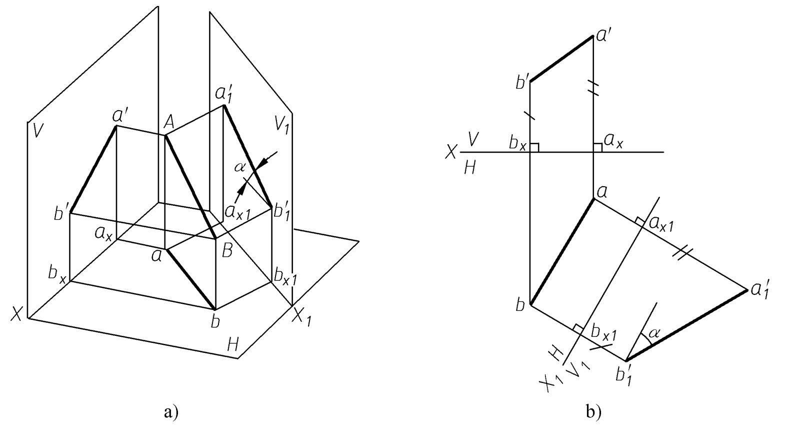


图 5-6　一般位置直线一次变换成投影面平行线

2. 将一般位置直线变换成投影面垂直线

将一般位置直线变换成投影面垂直线时，由于通过一次变换不可能选择一个新投影面既垂直于一般位置直线，同时又垂直于保留的投影面，因此要进行两次变换：第一次先将一般位置直线变换成平行线，再将平行线变换成垂直线。如图 5-7a 所示，先用 V_1 面代替 V 面，使一般位置直线 AB 变换成为 V_1 面的平行线。然后再用 H_2 面代替 H 面，使直线 AB 变换成为新投影面 H_2 的垂直线。投影图的作图步骤见图 5-7b。

1）作 X_1 轴 $/\!/ ab$，求得投影 $a_1'b_1'$（作法同图 5-6b）。

2）作 X_2 轴 $\perp a_1'b_1'$，在 $a_1'b_1'$的延长线上量取 a_2、b_2 到 X_2 轴的距离等于 a、b 到 X_1 轴的距离，得 a_2、b_2，a_2、b_2 积聚成一点。

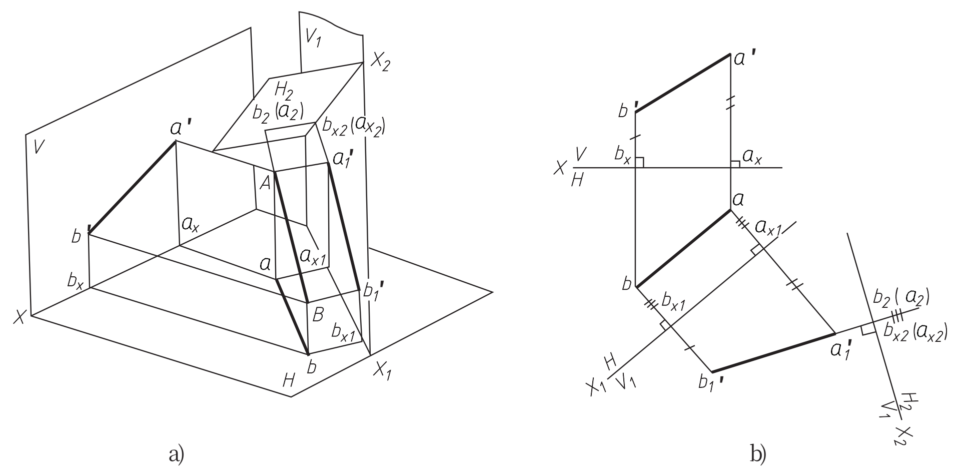


图 5-7　一般位置直线变换成投影面垂直线

也可以选用 H_1 面代替 H 面，再以 V_2 面代替 V 面，使一般位置直线 AB 变换成为 V_2 面的垂直线，请读者自行分析作图。

从图 5-7 的作图过程中可知：若直线是 V/H 体系中的投影面平行线，则只需经过一次换面就可使它变换成新投影面的垂直线。

3. 将一般位置平面变换成投影面垂直面

图 5-8a 表示 V/H 体系中的一般位置平面 $\triangle ABC$ 变换成投影面 V_1 的垂直面的情况。由立体几何知道，只要将 $\triangle ABC$ 平面上的任意一条直线变换成新投影面的垂直线，则平面 $\triangle ABC$ 便垂直于新投影面。由于将一般位置直线变换成投影面垂直线，必须变换两次投影面，而将投影面平行线变换成投影面垂直线只需变换一次投影面。为简化作图，应在 $\triangle ABC$ 平面上任作一条投影面平行线为辅助线，再作新投影面垂直于它，在新投影面体系中，$\triangle ABC$ 平面就是新投影面的垂直面。图 5-8b 是投影图，其作图步

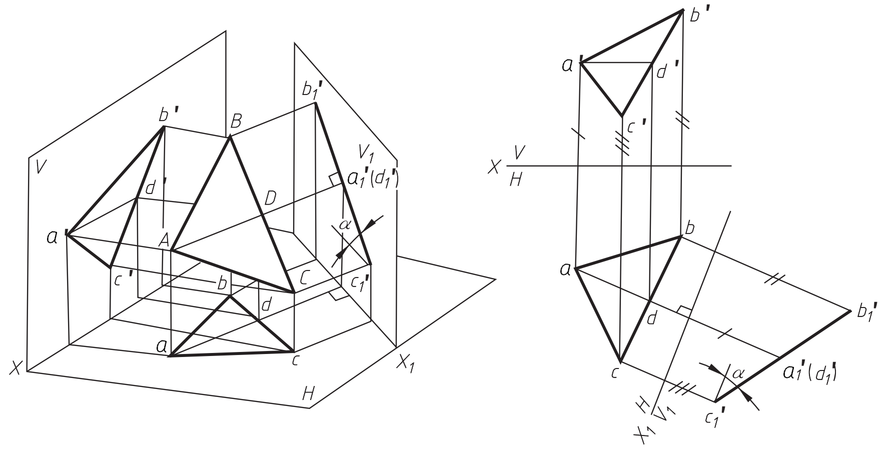
骤如下：

1）在平面△ABC 内作一条水平线 AD（其投影为 ad、$a'd'$，其中 $a'd' /\!/ X$ 轴）。

2）作 X_1 轴⊥ad。

3）依次求出点 A、B、C 的新投影 a_1'、b_1' 和 c_1'。这三点必在同一直线上，即△ABC 平面是新投影面体系 V_1/H 中 V_1 面的垂直面。新投影 $a_1'b_1'c_1'$ 与 X_1 轴的夹角就是△ABC 平面对 H 面的倾角 α。

若需要求平面△ABC 对 V 面的倾角，可取△ABC 平面上的正平线作辅助线，用垂直于正平线的投影面 H_1 去代替 H，使△ABC 平面变换成 H_1 的垂直面，即可求得△ABC 平面对 V 面的倾角 β，请读者自行分析作图。



a)　　　　b)

图 5-8　一般位置平面变换成投影面垂直面

4. 将一般位置平面变换成投影面平行面

要将一般位置平面变换成新投影面的平行面，必须变换两次投影面。先将它变换成投影面垂直面，再将它变换成投影面平行面。其作图步骤见图 5-9：

1）将△ABC 平面变换成 V_1 面的垂直面，求得 $a_1'b_1'c_1'$（作法同图 5-8b）。

2）作 X_2 轴$/\!/ a_1'b_1'c_1'$。

3）依次求出 a_2、b_2、c_2，并将其连接成△$a_2b_2c_2$，则△ABC 平面即为 V_1/H_2 体系中的投影面 H_2 的平行面，△$a_2b_2c_2$ 反映△ABC 平面的实形。

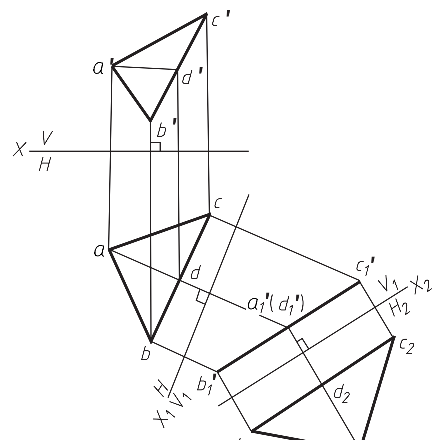


图 5-9　一般位置平面变换成投影面平行面

四、应用举例

在应用换面法解题时，先要弄清题意，进行空间分析，分析清楚已知条件和所求问题之间的空间几何关系，进而确定需要变换直线还是变换平面；要变换一次投影面还是要变换两次或多次投影面。然后运用换面法的基本规律和解决四个基本问题的方法进行求解。现举例如下：

例 5-1　过点 C 作直线与直线 AB 垂直相交，见图 5-10a。

分析：

设所求直线为 CK。由直角投影定理知：当垂直相交的两直线中有一直线平行于某一投影面时，则垂直相交两直线在该投影面上的投影反映直角。为了能过 C 点作出垂线 CK，可先将直线 AB 变换成投影面平行线。显然，这是四个基本问题中的第一个问题，通过一次换面就可以解决。

作图过程见图 5-10b：

1）作 X_1 轴 $/\!/ ab$，建立新体系 V_1/H。

2）根据点的投影变换规律，求得直线 AB 和点 C 的新投影 $a_1'b_1'$ 和 c_1'。

3）过 c_1' 向 $a_1'b_1'$ 作垂线，得垂足 k_1'。

4）按点的投影变换规律，将 k_1' 返回到 V/H 体系中得 k、k'，连接 ck、$c'k'$ 即为所求。

若用平行于直线 AB 的 H_1 面代替 H 面，也可得到同样的解答。

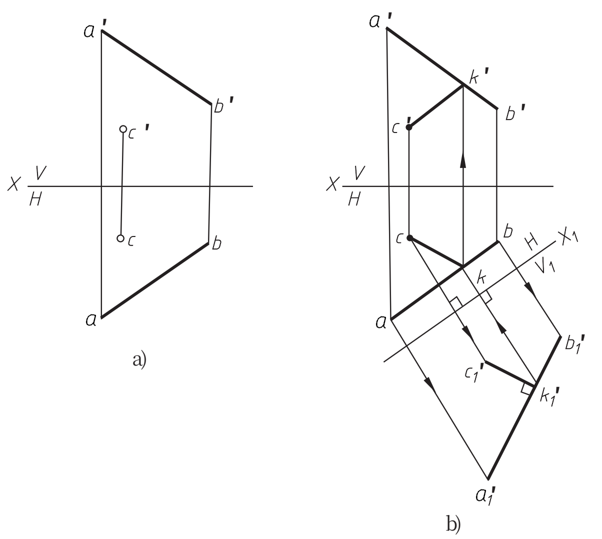


图 5-10　过点作直线与已知直线垂直相交

例 5-2　已知交叉两输油管轴线 AB 和 CD，见图 5-11a。现要在两管之间用一根最短的管子将它们连接起来，求连接点的位置和连接管的长度。

分析：

两输油管轴线 AB、CD 是交叉两直线，求它们之间的最短连接管的位置和长度，就是求解交叉两直线的公垂线问题。

如图 5-11b 所示，若将交叉两直线中的直线之一（图中为 AB）变换成投影面垂直线，则公垂线 KL 必平行于该新投影面，其新投影 k_2l_2 反映实长，且与另一直线 CD 在新投影面上的投影反映直角（$k_2l_2 \perp c_2d_2$）。将一般位置直线 AB 变换成投影面（H_2）的垂直线可按解决第二个基本问题的方法作图。

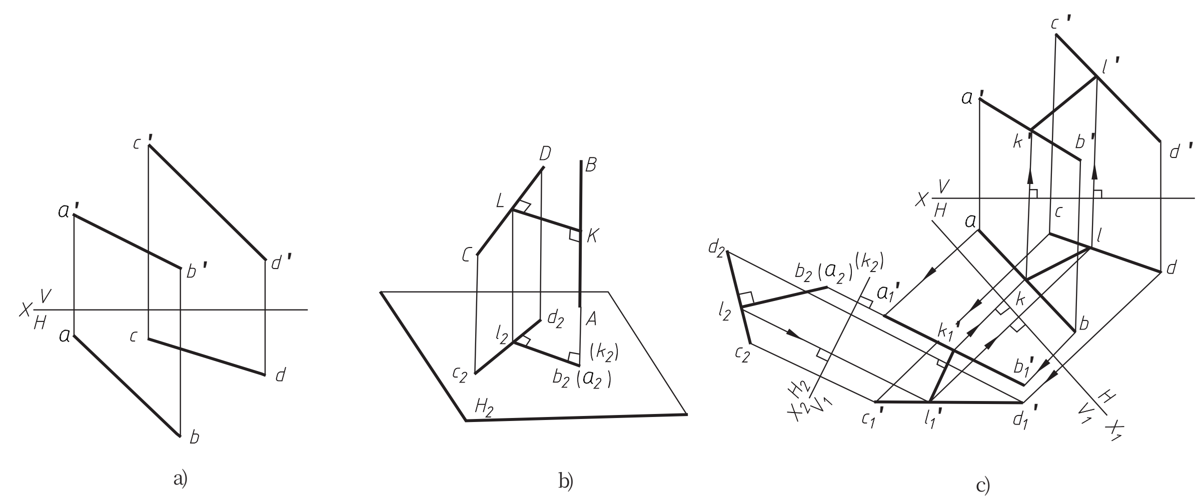


图 5-11　求交叉两油管的最短连接管的位置及长度

a）给题　b）空间分析　c）求解过程

作图过程见图 5-11c：

1）先将直线 AB 变换成 V_1/H 体系中 V_1 面的平行线（作 $X_1 /\!/ ab$），直线 CD 也随之变换，得 $a_1'b_1'$、$c_1'd_1'$。

2）再将直线 AB 变换成 V_1/H_2 体系中 H_2 面的垂直线（作 $X_2 \perp a_1'b_1'$）。此时，直线 AB 在 H_2 面上的投影 b_2（a_2）积聚成一点，直线 CD 的投影为 c_2d_2。

3）根据直角投影定理，过点 b_2（a_2）（k_2）向 c_2d_2 作垂线，与 c_2d_2 交于点 l_2，k_2l_2 即为所求连接管的实长。

4）将 l_2 返回投影得 l_1'，因 KL 是 V_1/H_2 体系中 H_2 的平行线，故作 $k_1'l_1' /\!/ X_2$ 轴，与 $a_1'b_1'$ 相交于 k_1'。然后再将 $k_1'l_1'$ 返回变换到 V/H 体系中，求得 kl 和 $k'l'$。点 K(k、k')、L(l、l') 即为两管子 AB 和 CD 间距离最短的连接点位置。

例 5-3　试求平面 $\triangle ABC$ 和 $\triangle BCD$ 之间的夹角 θ，见图 5-12。

分析：

求平面△ABC 和△BCD 之间的夹角 θ，就是求由该两平面所形成的两面角的大小。如图 5-12a 所示，当两平面同时垂直于某一投影面时，它们在该投影面上的投影均积聚为直线，此两直线的夹角就反映出空间两平面的夹角 θ。因此，必须选择一个与两平面交线垂直的平面作为新投影面。由于题中两平面交线 BC 为一般位置直线，所以要进行两次换面才能使它垂直于新投影面。

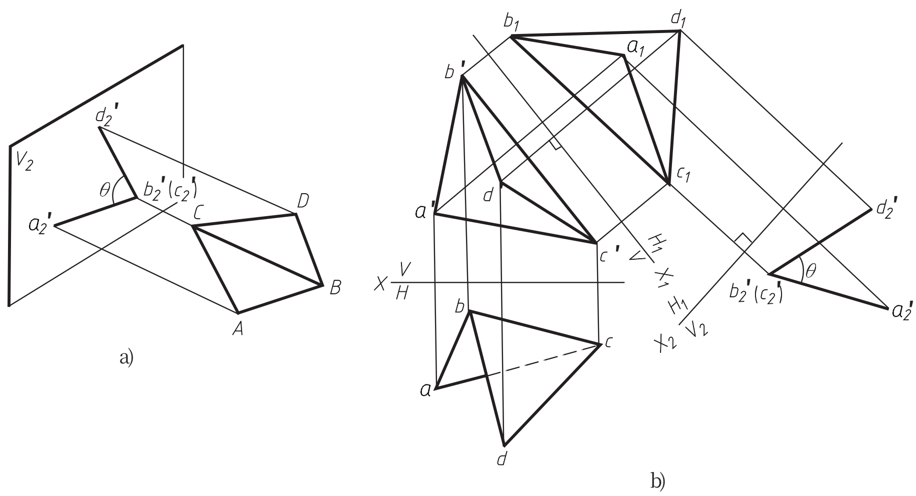


图 5-12　求两平面之间的夹角

作图过程见图 5-12b：

1）作 X_1 轴 $/\!/ b'c'$，在新体系 V/H_1 中 $BC /\!/ H_1$。

2）求出平面△ABC 和△BCD 在 H_1 面上的投影△$a_1b_1c_1$ 和△$b_1c_1d_1$。

3）作 X_2 轴 $\perp b_1c_1$，在新体系 V_2/H_1 中 $BC \perp V_2$，即平面△ABC 和△BCD 均垂直于 V_2。

4）求出平面△ABC 和△BCD 在 V_2 面上的积聚性投影 $a_2'b_2'c_2'$ 和 $b_2'c_2'd_2'$，则 $\angle a_2'b_2'd_2'$ 即为所要求的两平面的夹角 θ。

例 5-4　试求直线 AB 与平面△EFG 之间的夹角 θ，见图 5-13a。

分析：

求直线与平面之间的夹角时，当直线平行于某一投影面，同时平面垂直于该投影面时（平面在该投影面上的投影积聚成为直线），则直线与平面在该投影面上的投影反映夹角的真实大小。图 5-13b 中，直线 AB 平行于新投影面 V_3，平面△EFG 平行于 H_2，同时垂直于 V_3，则直线 AB 与平面△EFG 的夹角 θ 在 V_3 面上的投影反映其真实大小。

由给题条件图 5-13a 知：平面△EFG 与直线 AB 都处于一般位置，用换面法来求它们的夹角，必须把它们变换到如图 5-13b 所示的特殊位置，即使其同时成为新投影面 V_3 的平行线和垂直面。为此，可先按解第四个基本问题的方法，将△EFG 变换成投影面 H_2 的平行面，再按解第一个基本问题的方法，将直线 AB 变换成投影面 V_3 的平行线，此时△EFG 也垂直于 V_3。可见用换面法解本题需要三次换面。

作图过程见图 5-13c：

1）在△EFG 平面上作水平线 $FH(fh、f'h')$，并作 X_1 轴 $\perp fh$，将△EFG 平面变换成 V_1 面的垂直面，其 V_1 面上的投影积聚为直线 $e_1'f_1'g_1'$。直线 AB 的投影为 $a_1'b_1'$。

2）作 X_2 轴 $/\!/ e_1'f_1'g_1'$，使△EFG 平面 $/\!/ H_2$，并得其 H_2 面上的投影△$e_2f_2g_2$，直线的相应投影为 a_2b_2。

3）作 X_3 轴 $/\!/ a_2b_2$，将直线 AB 变换成投影面 V_3 的平行线，而平面△EFG 为 H_2 的平行面，必垂直于 V_3。求得平面△EFG 和直线 AB 在 V_3 面上的投影 $e_3'f_3'g_3'$ 及 $a_3'b_3'$，它们之间的夹角 θ 即为所求直线 AB 与平面△EFG 之间的夹角。

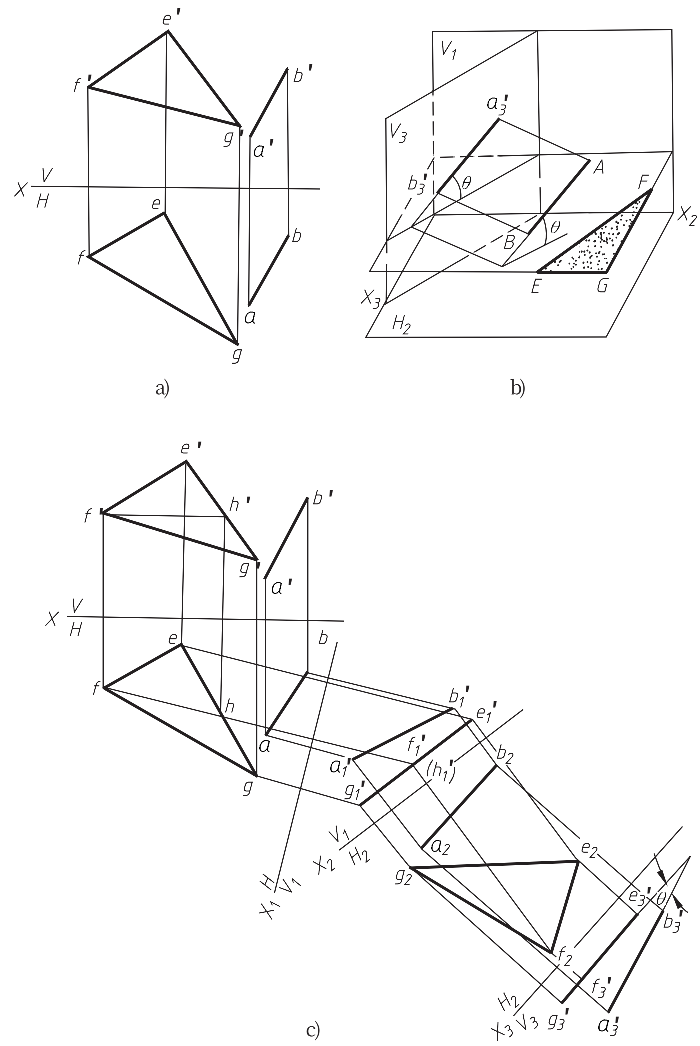


图 5-13　求直线与平面的夹角

a）给题　b）空间分析　c）求解过程

第三节　旋　转　法

一、旋转法的基本概念

投影面保持不动，将空间几何元素绕某一轴旋转到相对于投影面处于有利于解题的位置，这种投影变换的方法称为旋转法。图 5-14 所示△*ABC* 平面为铅垂面，若以铅垂线 *AB* 为旋转轴，将△*ABC* 平面旋转成 *V* 面的平行面△ABC_1。此时△ABC_1 的投影△$a'b'c_1'$反映△*ABC* 平面的实形。

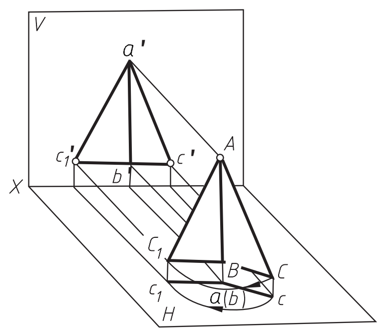


图 5-14　△*ABC* 平面旋转成正平面

旋转轴对投影面可有各种相对位置。本节仅介绍绕垂直于投影面的轴旋转，简称绕垂直轴旋转。

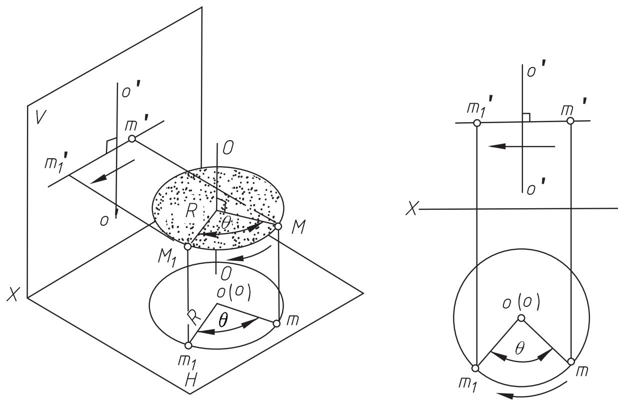
二、点的旋转

图 5-15a 表示空间点 *M* 绕垂直于 *H* 面的旋转轴 *OO*（称为铅垂轴）旋转时，点 *M* 的两个投影的变化情况。当点 *M* 绕 *OO* 轴旋转

时，它的运动轨迹是一个圆，该圆所在的平面垂直于旋转轴 OO，并平行于 H 面。因此该轨迹圆在 V 面上的投影是一条平行于 X 轴的直线，它在 H 面上的投影反映实形，即是以 O 为圆心，以 R 为旋转半径的圆。当点 M 旋转一任意的角度 θ 到新位置 M_1 时，其水平投影由 m 旋转同一角度 θ 到达 m_1 的位置，其正面投影由 m' 到达 m_1' 的位置，m'、m_1' 的连线平行于 X 轴，图 5-15b 是其投影图。

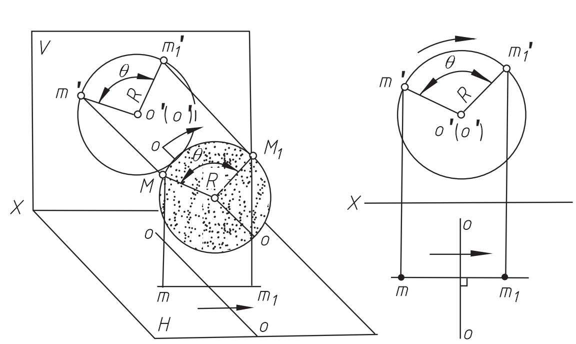
图 5-16 表示点 M 绕垂直于 V 面的旋转轴 OO（称为正垂轴）旋转的情况。此时点 M 旋转所形成的圆平面平行于 V 面，所以它的 V 面投影反映实形，是一个以 o' 为圆心，R 为半径的圆。而在 H 面上的投影是过点 m 且与 X 轴平行的直线。

由此可见，点绕垂直轴旋转的规律为：当点绕垂直于某一投影面的轴旋转时，点在该投影面上的投影作圆周运动，而在另一个投影面上的投影，则沿与投影轴平行的直线移动。



a)　　b)

图 5-15　点绕铅垂轴旋转



a)　　b)

图 5-16　点绕正垂轴旋转

三、直线、平面的旋转

1. 直线的旋转及其投影特点

一直线由两点确定，旋转一直线段的作图实质是旋转直线段上的两个点，一般为直线段的两个端点。旋转时必须使两点绕同一轴，向同一方向、旋转同一角度（以下简称“三同”原则），然后把旋转后得到的两点的投影连接起来，就得到直线旋转后的新投影。图 5-17 所示为一般位置直线 AB 绕垂直于 H 面的轴 OO 旋转 θ 角的作图过程，其作图步骤是：

1）先作水平投影。以 $o(o)$ 为圆心，将 a、b 两点分别以 oa、ob 为半径向同方向旋转 θ 角，求得新投影 a_1、b_1。

2）在正面投影中，过点 a'、b'分别作与 X 轴平行的直线，并在该直线上按点的投影规律由 a_1、b_1 确定 a_1'、b_1'。

3）连接 a_1、b_1 和 a_1'、b_1'，则连线 a_1b_1 和 $a_1'b_1'$即为直线 AB 绕 OO 轴旋转 θ 角后的新投影。

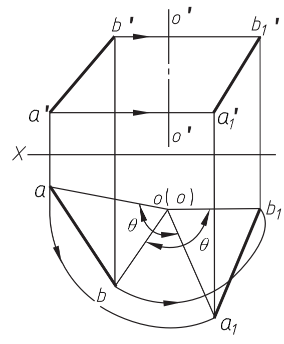


图 5-17　直线的旋转

分析图 5-17 中的作图过程，可得直线旋转的投影特点：当直线 AB 绕铅垂轴 OO 旋转时，由于直线对 H 面的倾角 α 不变，所以其水平投影长度不变，即 $a_1b_1=ab=AB\cos\alpha$。而直线对 V 面的倾角 β 在旋转时不断改变，其正面投影长度也随之改变，但直线段两端点的 Z 坐标不变。

同理，若直线绕正垂轴旋转时，其正面投影长度不变，直线对 V 面的倾角 β 也不变。而其水平投影长度与 α 角在旋转时将改变。

2. 平面的旋转及其投影特点

旋转平面时，只要将确定平面的几何元素按上述“三同”原则旋转，求出它们旋转后的投影，即

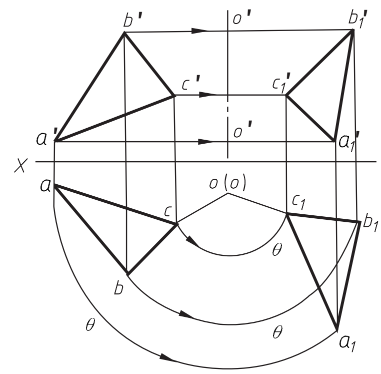


图 5-18　平面的旋转

得平面旋转后的新投影。图 5-18 表示一般位置平面△ABC 绕铅垂轴旋转一 θ 角的情况。图中将三个顶点按“三同”原则旋转后，△ABC 的三条边 AB、BC、CA 的水平投影长度不变，即 $a_1b_1=ab$，$b_1c_1=bc$、$c_1a_1=ca$。故图中△ABC 的水平投影形状和大小不变，即△$a_1b_1c_1$≌△abc。并且它对 H 面的倾角 α 也不变。而正面投影的形状、大小和 β 角在旋转时将改变，其作法与直线的旋转相同。

同理，当平面图形绕正垂轴旋转时，它的正面投影的形状和大小不变，并且它对 V 面的倾角 β 也不变。而水平投影的形状、大小和 α 角在旋转时将改变。

由此得出直线或平面旋转时投影特点为：当一直线或平面绕垂直于某一投影面的轴旋转时，直线或平面对该投影面的倾角不变，它们在该投影面上的投影的形状和大小也不变。此称为旋转时的不变性。

四、四个基本问题

用绕垂直轴旋转法解题时也经常要遇到以下四个基本问题：

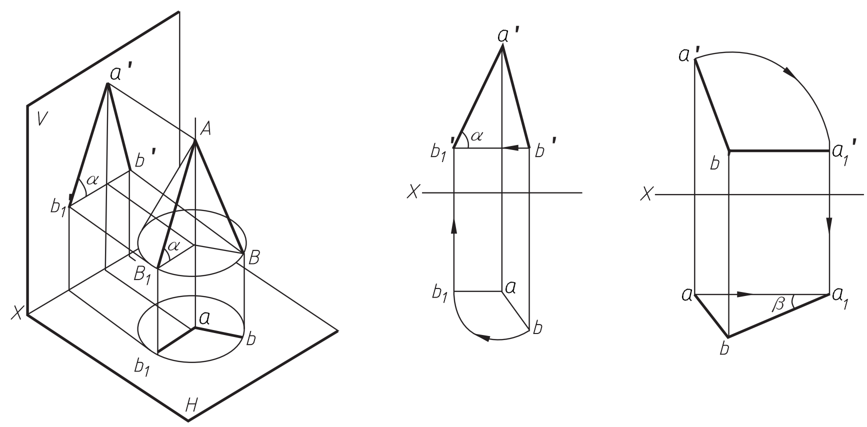
1. 将一般位置直线旋转成投影面平行线

图 5-19a 表示一般位置直线 AB 绕垂直于 H 面的轴旋转成正平线的情形。为了作图方便，使旋转轴通过端点 A，这样直线绕铅垂轴旋转时，点 A 保持不动，只要旋转一点 B 到达所需位置即可。具体作图步骤见图 5-19b：

1）以 a 点为圆心，将 ab 旋转成与 X 轴平行的 ab_1 位置。

2）根据旋转法的投影特性，过点 B 的正面投影 b'作 X 轴的平行线。再按点的投影规律由 b_1 求出 b_1'。

3）连接 $a'b_1'$得直线 AB 新的正面投影，它反映直线 AB 的实长，它与 X 轴的夹角反映直线 AB 对 H 面的倾角 α。



a)　　b)　　c)

图 5-19　一般位置直线旋转成投影面平行线

同理，图 5-19c 所示是将一般位置直线 AB 绕过点 B 的正垂轴旋转成水平线的情况，此时，要先旋转 $a'b'$使它转到平行于 X 轴的 $a_1'b'$位置，再求出水平投影 a_1b，a_1b 与 X 轴的夹角反映直线 AB 对 V 面的倾角 β。

2. 将一般位置直线旋转成投影面垂直线

图 5-20 表示一般位置直线 AB 旋转成为正垂线的过程。一般位置直线绕垂直轴旋转，不可能一次旋转成为投影面垂直线。因为一般位置直线绕某一投影面的垂直轴旋转时，对该投影面的倾角始终不变，总不能变为 0 或 90°。因此需要经过两次旋转，先将一般位置直线绕垂直于某一投影面（如 V 面）的轴

旋转成为投影面平行线，然后将平行线绕垂直于另一投影面（如 H 面）的轴旋转成为投影面垂直线。具体作图步骤如下：

1）以过点 A 的正垂线为旋转轴（图中未画出），将下线 AB 旋转成水平线 AB_1，其正面投影为 $a'b_1'$，水平投影为 ab_1。

2）再以过点 A 的铅垂线为旋转轴（图中未画出），将直线 AB_1 旋转成为正垂线 AB_2，其正面投影 $a'b_2'$ 积聚为一点，水平投影为 ab_2。

同理，也可将直线 AB，先绕铅垂轴旋转成为正平线，再将正平线绕正垂轴旋转成为铅垂线。

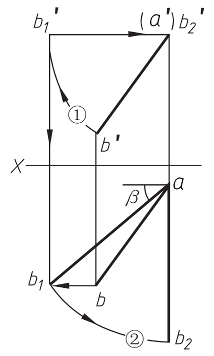


图 5-20　一般位置直线旋转成正垂线

3. 将一般位置平面旋转成投影面垂直面

将一般位置平面旋转成投影面垂直面，只要将平面上的某一条直线旋转成为投影面垂直线即可。由直线的旋转可知，只有投影面平行线才能一次旋转成为投影面垂直线。因此，只需取平面上的投影面平行线作为辅助线，就可一次将其旋转成垂直线，则该平面也同时旋转成投影面垂直面。图 5-21 表示一般位置平面 $\triangle ABC$ 旋转成正垂面的作图过程。

作图步骤如下：

1）在 $\triangle ABC$ 上任作一水平线 CD。

2）选过 C 点的铅垂线为旋转轴，将 cd 旋转到与 X 轴垂直的位置 cd_1，同时按“三同”原则，分别将 a、b 转到 a_1、b_1 的位置，$\triangle a_1b_1c$ 即为 $\triangle ABC$ 旋转后的水平投影。

3）在正面投影图上，根据旋转法作图的投影特性，由点 a_1、b_1、d_1 求得 a_1'、b_1'、d_1'，d_1' 必与 c' 重合。连接 $a_1'b_1'c_1'$ 为一直线，即为正垂面 $\triangle A_1B_1C$ 的正面投影，它与 X 轴的夹角即为 $\triangle ABC$ 对 H 面的倾角 α。

同理，若要将一般位置平面旋转成铅垂面，只要取该平面内的正平线作为辅助线，绕正垂轴经一次旋转成铅垂线，则该一般位置平面旋转成为铅垂面。

4. 将一般位置平面旋转成投影面平行面

将一般位置平面旋转成投影面平行面，必须旋转两次。即先绕垂直于某个投影面（如 H 面）的轴，将一般位置平面旋转成投影面垂直面；然后绕垂直于另一个投影面（如 V 面）的轴，将垂直面旋转成投影面平行面。图 5-22 是将一般位置平面 $\triangle ABC$ 旋转成水平面的作图过程。

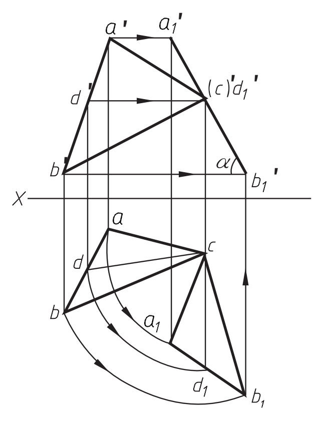


图 5-21　一般位置平面旋转成正垂面

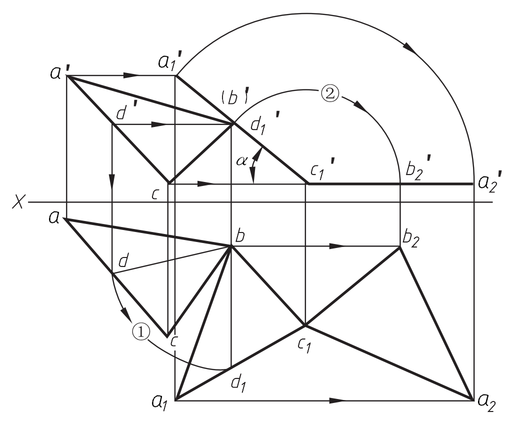


图 5-22　一般位置平面旋转成水平面

作图步骤如下：

1）先在 $\triangle ABC$ 上作辅助水平线 BD。

2）以过点 B 的铅垂线为轴，旋转 $\triangle ABC$，使 BD 旋转成正垂线 BD_1，则 $\triangle ABC$ 旋转成正垂面 $\triangle A_1BC_1$。

3）再以过 C_1 点的正垂线为旋转轴，将正垂面$\triangle A_1BC_1$ 旋转成水平面$\triangle A_2B_2C_1$。

同理，也可将一般位置平面$\triangle ABC$，先绕正垂轴旋转成铅垂面，再将该铅垂面绕铅垂轴旋转成正平面。

五、应用举例

从前面的讨论中得知，用旋转法以解决的基本问题与换面法是一样的，两种方法都能用来解决空间几何元素间的定位和度量问题，有的场合结合使用，更有利于解题。

例 5-5　求点 M 到平面$\triangle ABC$ 的距离，见图 5-23a。

分析：

若将平面$\triangle ABC$ 旋转成垂直面，点 M 也按“三同”原则一起旋转，则点 M 到$\triangle ABC$ 的距离可在投影图上直接反映出来。

作图过程见图 5-23b：

1）在平面$\triangle ABC$ 上作水平线 AD，选取过 A 点的铅垂线作旋转轴，将$\triangle ABC$ 旋转成正垂面$\triangle AB_1C_1$（其中 AD_1 垂直于 V 面，故 a'、d_1'重影）。其新投影为$\triangle ab_1c_1$ 和直线 $a'b_1'c_1'$。

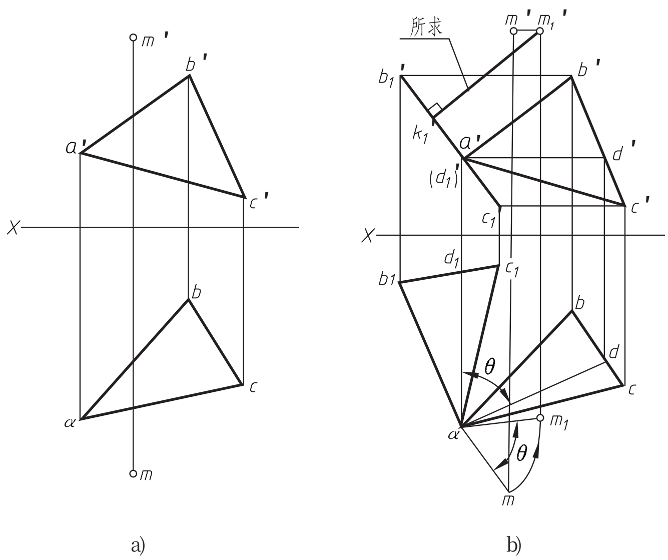


图 5-23　求点到平面的距离

2）将 M 点随同$\triangle ABC$ 一起旋转到新位置 M_1，其新投影为 m_1、m_1'。

3）自 m_1'向 $a'b_1'c_1'$作垂线相交于 k_1'，$m_1'k_1'$即为所求距离（K_1 点的水平投影可不必求出）。

例 5-6　试过$\triangle ABC$ 平面上点 A，在该平面上作一条直线 AD 与 H 面倾角 α 等于 45°，实长为 20mm，见图 5-24a。

分析：

过点 A 作一正平线 AD_0，使其对 H 面的倾角为 45°，长度为 20mm；当直线绕过 A 点的铅垂轴旋转时，直线对 H 面的倾角不变，只要将直线上的另一端点 D_0 旋转到平面$\triangle ABC$ 上，问题就得到解决。又因点 D_0 的旋转轨迹是一水平圆周，该圆周所在的平面与$\triangle ABC$ 交于一水平线，所求直线的端点 D 是该水平线与水平圆周的交点。

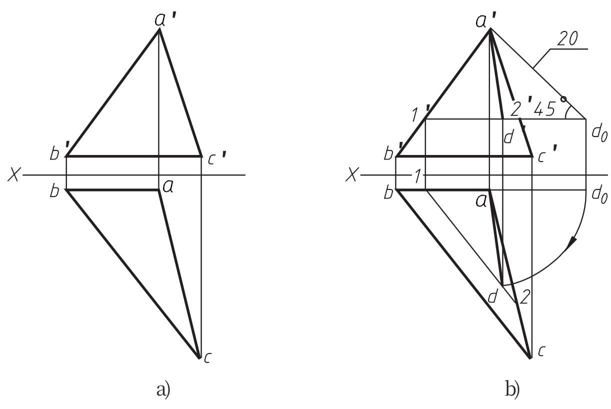


图 5-24　在已知平面上求作过定点与 H 面成 45°角的定长线段

作图过程见图 5-24b：

1）过点 A 作正平线 AD_0，使 $a'd_0'$与 X 轴成 45°角，长度为 20mm，过 a 作 ad_0 平行于 X 轴。

2）在平面$\triangle ABC$ 上作与 D_0 点等高的水平线ⅠⅡ（12、1′2′）。

3）将点 D_0 绕过点 A 的铅垂轴旋转。即以 a 点为圆心，ad_0 为半径画弧与 12 交于点 d，再求得 d'。

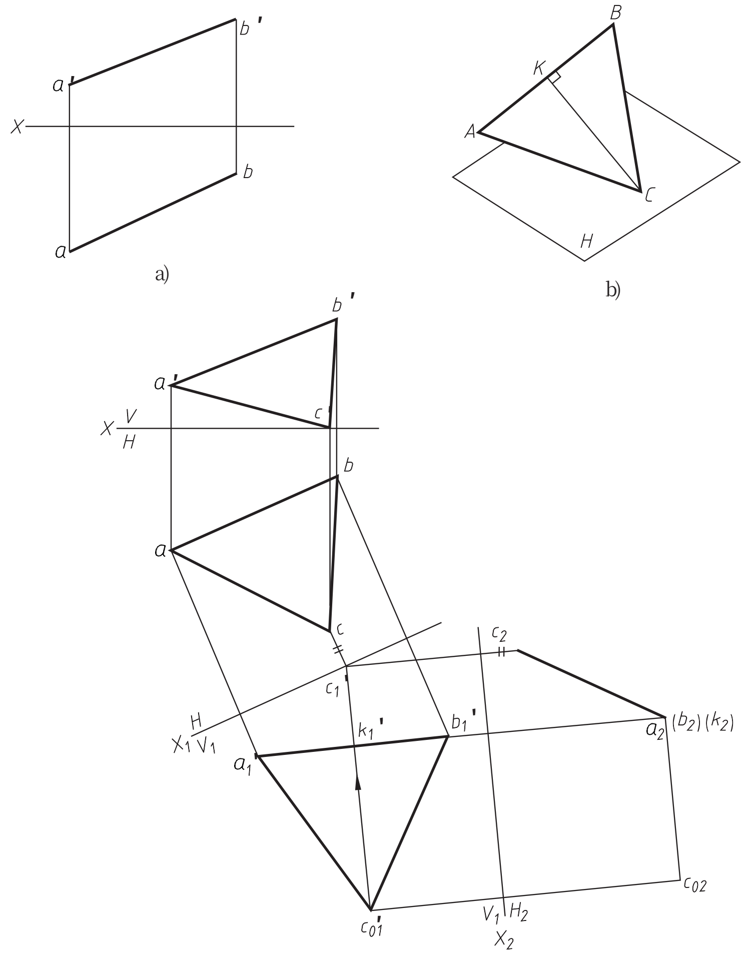
4）连接 $a'd'$、ad，则 $AD(a'd'$、$ad)$ 即为所求的直线。

讨论：设给题条件中$\triangle ABC$ 对 H 面的倾角为 α_1，本题中，$\alpha_1 > \alpha$（α 为直线 AD 对 H 面的倾角），可得两解（图中只画出一解）；若 $\alpha_1 = \alpha$，则只有一解；若 $\alpha_1 < \alpha$，则本题无解。

例 5-7　已知直线 AB，见图 5-25a。试作等边$\triangle ABC$，使 C 点在 H 面上。

分析：

如图 5-25b 所示，设点 K 为直线 AB 的中点，KC 为所求等边△ABC 的高。将点 C 绕轴线 AB 旋转到 H 面上，问题就能得到解决。但直线 AB 是一般位置直线，故可先用换面法将直线 AB 变换成投影面垂直线，再以其作为旋转轴进行求解。



a)　　b)　　c)

图 5-25　求作等边三角形△ABC 的投影

作图过程见图 5-25c：

1）将直线 AB 二次换面，使其垂直于 H_2 面，即成为 V_1/H_2 体系中的铅垂线 $a_1'b_1'$ 和 $a_2(b_2)$。

2）在 V_1/H_2 体系中作等边三角形△ABC_0∥V_1［即作 $a_2(b_2)$ c_{02}∥X_2 轴，作等边三角形△$a_1'b_1'c_{01}'$ 反映△ABC_0 的实形］。

3）以直线 AB 为旋转轴，C_0K 为半径旋转 C_0 到 H 面上，得到 C（旋转时 C_0 点的 V_1 面投影 c_{01}' 的运动轨迹是一条平行于 X_2 轴的直线，该直线与 X_1 轴的交点 c_1' 即为所求 c 点的 V_1 面投影，返回作图求得 c、c'）。

4）同面投影相连，作出所求等边三角形△ABC 的两面投影△$a'b'c'$ 和△abc。

本题有两解，另一解图中未画出。

第六章　立体的投影

尽管立体的形状是千变万化的，但按照立体表面的几何性质的不同，可分为平面立体和曲面立体两类。

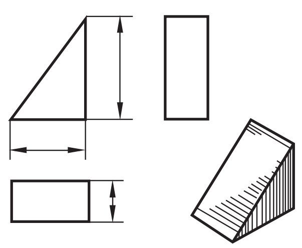
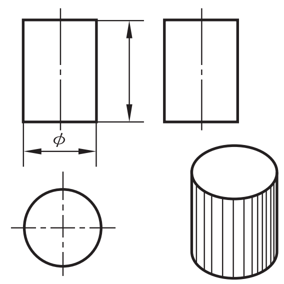
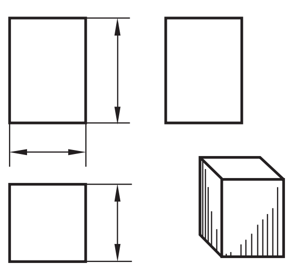
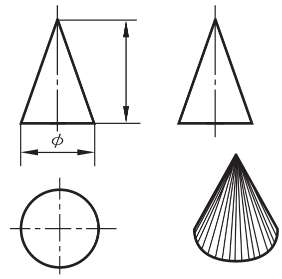
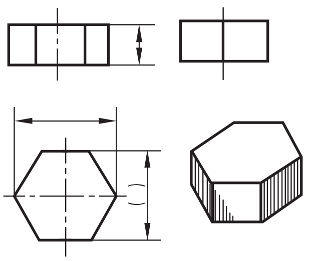
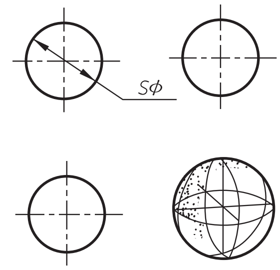
表面全部是平面的立体称为平面立体，如棱柱、棱锥等；表面既有平面、又有曲面或全部是曲面的立体称为曲面立体。其中表面是平面和回转面或全部是回转面的曲面立体称为回转体，它是工程上最常见的曲面立体，如圆柱、圆锥、圆球和圆环等。

立体按照其复杂程度不同，可分为基本立体（简称基本体）和组合立体（简称组合体）。形状简单的基本几何形体称为基本体，如棱柱、棱锥、圆柱、圆锥等。由若干个基本体按照一定的相对位置和组合方式（见本章第五节）组合而成的较为复杂的形体称为组合体。

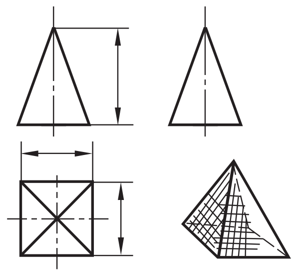
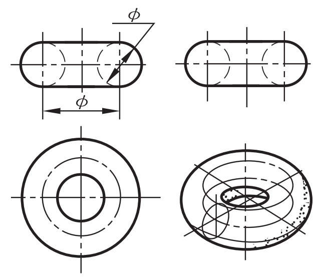
第一节　基本体的三视图和尺寸

如上所述，任何较为复杂的组合体，都是由若干基本体组合而成的。因此要掌握组合体三视图的画法、尺寸注法以及读组合体的三视图等，必须首先熟练掌握基本体的三视图、尺寸标注等，为此将常见的基本体分成平面立体与曲面立体，将它们的三视图、尺寸标注列于表 6-1。

表 6-1　基本体的三视图和尺寸标注

平　面　立　体		曲　面　立　体	
三棱柱		圆柱	
四棱柱		圆锥	
六棱柱		圆球	

（续）

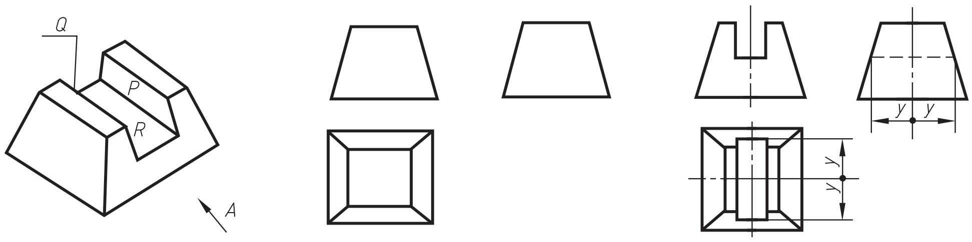
平面立体		曲面立体	
四棱锥		圆环	

第二节　带切口立体的三视图

本节通过几个实例进一步讨论工程上常见的带切口立体的三视图画法。

例6-1　画出图6-1a所示带切口正四棱台的三视图。

分析：带切口正四棱台按图6-1a所示位置放置和箭头所指 A 方向为主视图的投射方向时，切口由两个侧平面 P、Q 和一个水平面 R 切割得到，并形成通槽。因此，侧平面 P、Q 的正面投影和水平投影均积聚成直线，而侧面投影反映实形；水平面 R 的正面投影和侧面投影均积聚成直线，而水平投影反映实形。



a)　　　　b)　　　　c)

图6-1　带切口正四棱台的三视图画法

a）轴测图　b）画出完整四棱台的三视图　c）画出切口，得切口四棱台三视图

作图：1）画出完整四棱台的三视图，见图6-1b。

2）画出切口的投影，见图6-1c。

① 在主视图上，由于平面 P、Q、R 均垂直于正面，所以正面投影积聚成三条直线段，可由切口的高度（槽深）和长度（槽宽）尺寸直接画出。

② 在左视图上，水平面 R 为不可见，其侧面投影也有积聚性，积聚成一条水平直线，根据与主视图上 R 的投影高平齐的关系，即可画出它的投影——虚线。虚线以上的区域即为 P、Q 平面的侧面投影，且反映实形。

③ 在俯视图上，侧平面 P、Q 的水平投影积聚成两条直线段，根据与主视图上的投影长对正的关系即可画出其位置，直线的长度（宽）应与左视图上的投影虚（直）线宽相等，可对称量取 y 得到。再把两直线的同侧端点连线（为水平面 R 与四棱台前后侧棱面的交线），则四线段围成的区域即为水平面 R 的实形。

需要注意的是：四棱台上顶面上已被通槽切除的两段棱线已不复存在，因此，它在主、俯视图上的相应投影不能画出。

例 6-2　画出图 6-2a 所示的开槽圆柱体的三视图，并标注尺寸。

分析：开槽圆柱体采用图 6-2a 所示位置放置和箭头所指 A 方向为主视图的投射方向。此时槽的两侧面 P、Q 为侧平面，它们与圆柱面的交线为四条平行于圆柱轴线的直素线；槽底面 R 为水平面，它与圆柱面的交线是同一圆上的两段圆弧。

作图：1）画出完整圆柱体的三视图。

2）画通槽的投影，见图 6-2b。在主视图上根据槽宽（长度尺寸）和槽深（高度尺寸）可画出由平面 P、Q、R 积聚成的三条直线段；在俯视图上，侧平面 P、Q 的投影积聚成两条直线段，可根据长对正关系画出，该两条直线段和所夹的两段圆弧就是水平面 R 的水平投影，且反映实形；在左视图上，圆柱体上部的两段投影轮廓线被通槽切除，所以不应再画，而应画出侧平面 P、Q 与圆柱面的交线——四条铅垂线的投影，且重影为两条直线段，可根据与水平投影（积聚成四点）保持宽相等的关系画出，即对称量取 y 得到；水平面 R 积聚成为直线段，其两端的一小段是可见的，应画成粗实线，中间部分被圆柱面遮挡为不可见，应画成虚线，该虚线以上部分的矩形线框就是平面 P、Q 的实形。

3）标注尺寸。开槽圆柱体应标注圆柱体的定形尺寸：直径和高度；还应标注切口的相对位置尺寸，即通槽的长度和高度尺寸，见图 6-2c。而图 6-2c 中的尺寸“x”是不必标注的，因为该尺寸已经由圆柱的直径和通槽的长度尺寸确定。

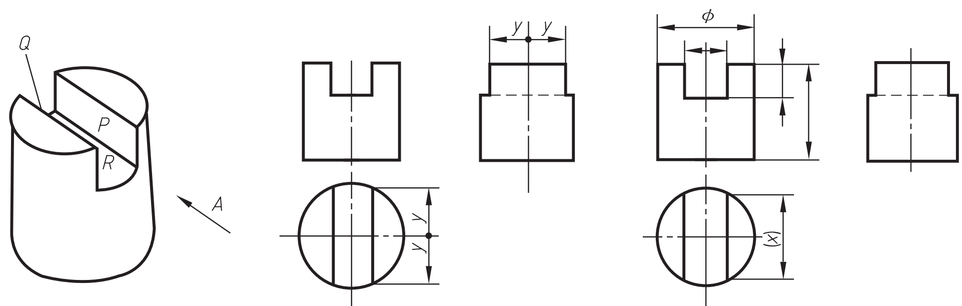


图 6-2　开槽圆柱体的三视图和尺寸
a）轴测图　b）三视图　c）标注尺寸

例 6-3　画出图 6-3a 所示开槽半圆球的三视图，并标注尺寸。

分析：开槽半圆球按图 6-3a 所示位置放置和箭头所示 A 方向为主视图的投射方向，则槽的两侧面 P、Q 为侧平面，它们与半圆球的交线为两段等半径的圆弧，它们的侧面投影重影，并反映实形，在主、俯视图上的投影积聚成直线。槽的底面 R 为水平面，它与半圆球的交线为同一圆上的两段圆弧，且水平投影反映实形，它在主、左视图上的投影均积聚成直线。

作图：1）画出完整半圆球的三视图。

2）画出通槽的投影，见图 6-3b。

① 根据通槽的高度（槽深）和长度（槽宽）尺寸，画出形成通槽的平面 P、Q、R 在主视图上的投影——积聚为三条直线段。

② 在俯视图上，根据与主视图长对正的关系，画出平面 P、Q 的水平投影，积聚成两条直线段，并以主视图上量得的 R_1 为半径画出两段同心圆弧，则由它们所围成的封闭图形就是通槽的水平投影，也是水平面 R 的实形。

③ 在左视图上，以主视图上量得的 R_2 为半径画出一段圆弧（侧平面 P、Q 与半圆球的交线），又根据与主视图高平齐的关系，画出水平面 R 的侧面投影，积聚为直线段，该直线段与 R_2 弧两交点以外的两小段为可见，应画成粗实线，中间部分为不可见，应画成虚线。

需要注意：在主、左视图上，已被通槽切除的投影轮廓线不能画出。

最后进行整理并加深图线，就得到了开槽半圆球的三视图。

3）标注尺寸。开槽半圆球应标注球的定形尺寸球半径 SR，以及通槽的长度和高度尺寸，见图6-3c。

注意，图6-3b 中的平面 R、P 分别与半圆球的交线圆弧半径 R_1 和 R_2 仅供作图时使用，在标注尺寸时不应注出，见图6-3c。理由请读者来说明。并请读者注意比较：在本节带切口立体的三视图的三个例题中，形成切口（通槽）的平面 P、Q、R 在俯、左视图上的投影及其画法的不同之处。

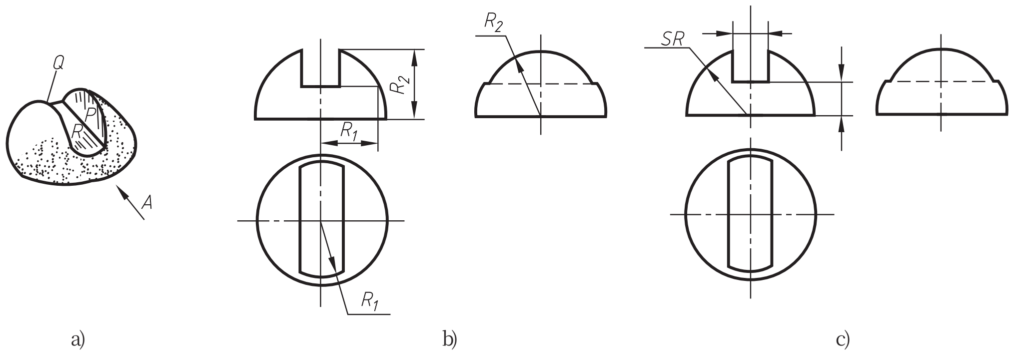


图6-3　开槽半圆球的三视图和尺寸

a）轴测图　b）三视图　c）标注尺寸

第三节　立体表面上点的投影

求作立体表面上点的投影通常称为立体表面取点。在后面求作立体表面交线——截交线和相贯线时，经常需要应用立体表面取点的方法。

在前面点的投影中已经介绍：在三投影面体系中，已知点的任意两个投影就可以确定点的空间位置，即一定可以求出第三个投影。对于立体表面上的点，在已知立体三视图的情况下，则一般只需知道点的一个投影即可求出其他两个投影。下面分两种情况介绍其求法。

一、位于立体表面上的点，当该表面的一个（或两个）投影具有积聚性，且点的一个已知投影不在积聚性的投影上

在这种情况下，可以直接利用积聚性作图求解。

例6-4　已知：正六棱柱的三视图和左前棱面上的一点 D 的正面投影 d'，见图6-4a、b。

求作：另外两个投影 d 和 d''。

分析：点 D 所在棱面为铅垂面，其水平投影积聚成直线，故点 D 的水平投影 d 必在该直线上，且与 d' 长对正，由此可求得 d；再由 d' 和 d 根据“高平齐、宽相等”可求得 d''。

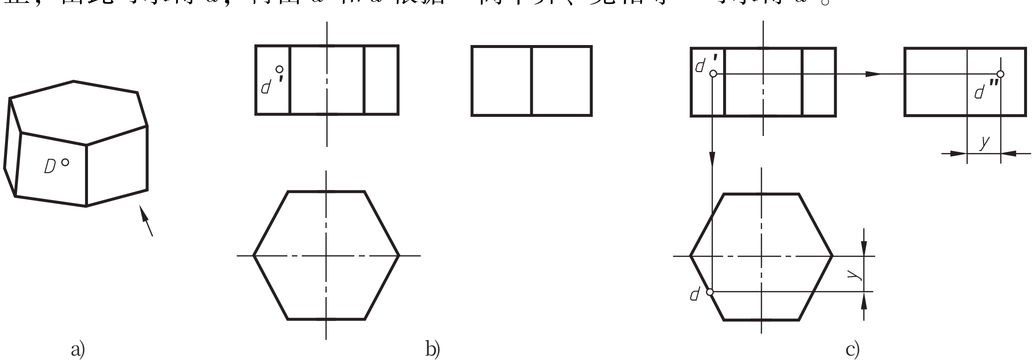


图6-4　求正六棱柱表面上点的投影

a）轴测图　b）给题　c）求解

作图：见图 6-4c。

1）根据“长对正”，由 d'作垂直线与左前棱面的水平投影——积聚性直线的交点即为 d。

2）根据“高平齐、宽相等”，由 d'和 d 可求得 d''。

例 6-5　已知：圆柱体的三视图和圆柱面上 A、B 两点的正面投影 a'、b'，见图 6-5a、b。

求作：另外两个投影 a、a''和 b、b''。

分析：圆柱的轴线垂直于侧面，圆柱面的侧面投影积聚成圆，故 A、B 两点的侧面投影 a''、b''必在该圆周上，且应满足“高平齐”，据此可求得 a''、b''；再由“长对正、宽相等”可求得 a、b。

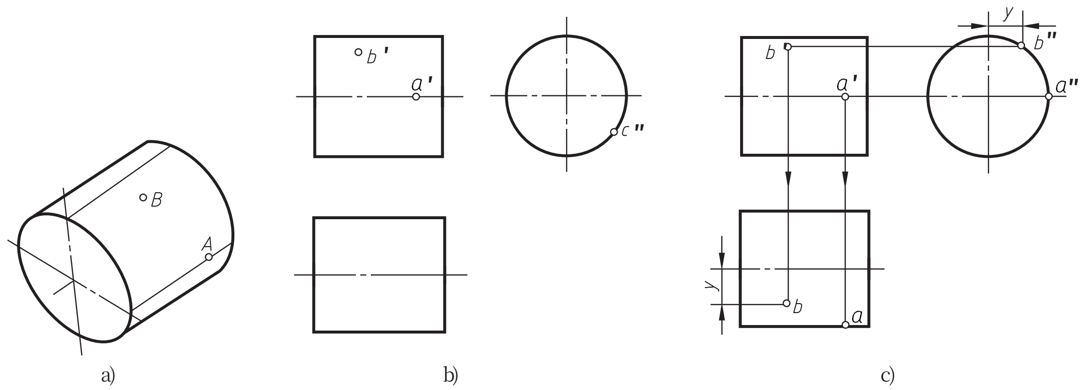


图 6-5　求圆柱体表面上点的投影

a）轴测图　b）给题　c）求解

作图：见图 6-5c。

1）由 a'、b'分别作水平线，与左视图投影圆的两个交点即为 a''和 b''。由于 a'、b'为可见（位于前半个圆柱体上），所以 a''、b''在右半个投影圆上。

2）由“长对正、宽相等”求得 a、b。

讨论：

1）对圆柱表面上的点，若一个投影位于轴线上（如 a'），则另一个投影必位于投影轮廓线上（如 a）；反之亦然。

2）若点的一个已知投影本身位于积聚性的投影上，如图 6-5b 中的 c''，则无法求出其他两个投影 c 和 c'。

二、位于立体上投影无积聚性的表面上的点

已知立体的三视图和投影无积聚性的表面上点的一个投影，求另外两个投影时（此时无积聚性可利用），除需要利用“三等关系”外，还需要借助于“点在线上，线在面上，则点必定在面上”的关系来求解。即一般应先在表面上过该点取一辅助线——直线或圆，求得辅助线的各投影，再根据“三等关系”求得点的另外两个投影。

例 6-6　已知：三棱锥的三视图和棱面 SAB 上点 M 的水平投影 m，见图 6-6。

求作：点 M 的另外两个投影 m'和 m''。

分析：点 M 所在棱面 SAB 为一般位置平面，其三个投影都没有积聚性，所以必须通过作辅助线来求解。可过点 M 和三棱锥顶点 S 作辅助线 $S(M)D$ 或过点 M 作辅助水平线 Ⅰ(M)Ⅱ，见图 6-6a，并作出辅助线的各投影，再由 m 通过“三等关系”求得 m'和 m''。

作图：

方法（一），见图 6-6b。

1）连接 sm，并延长交 ab 于 d，得 sd。

2）根据长对正，由 d 向上投射可求得 d'；根据宽相等，由 d 可求得 d''。从而可得到连线 $s'd'$、$s''d''$，则 m' 和 m'' 应分别在线段 $s'd'$ 和 $s''d''$ 上。

3）再根据长对正，由 m 向上投射可求得 m'；根据高平齐，由 m' 向右投射，可求得 m''。

方法（二），见图6-6c。

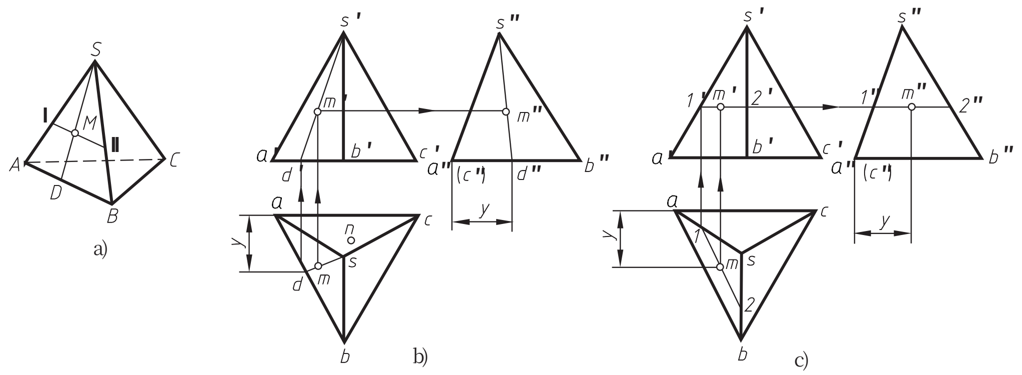


图6-6　求三棱锥表面上点的投影

a）轴测图　b）作辅助直线 $S(M)D$ 求解　c）作辅助水平线Ⅰ（M）Ⅱ求解

1）过点 m 作线段 $12\parallel ab$，分别交 sa、sb 于1、2两点。

2）根据长对正，由1向上投射，与 $s'a'$ 相交，其交点即为 $1'$。由于空间直线ⅠⅡ $\parallel AB$，且均为水平线（见图6-6a），故ⅠⅡ的正面投影和侧面投影均为横平线，因此由 $1'$ 点作横平线，即可求得 $1'2'$ 和 $1''2''$，则 m' 和 m'' 应分别在线段 $1'2'$ 和 $1''2''$ 上。

3）根据长对正，由 m 向上投射可求得 m'，根据宽相等，由 m 可求得 m''。

讨论：如果已知棱面 SAC 上的一点 N 的水平投影 n，见图6-6b，则由于棱面 SAC 在左视图上有积聚性，故可借助于积聚性来求解 n' 和 n''，而不必作出辅助线来求解。即属于第一种情况，请读者试解之。

例6-7　已知：圆锥的三视图和圆锥表面上一点 K 的正面投影 k'，见图6-7。

求作：点 K 的另外两个投影 k 和 k''。

分析：因为圆锥表面的三个投影均无积聚性，所以由点的一个投影求其他两个投影，应在圆锥表面上过该点作辅助线来求解。即先作出辅助线的投影，再根据投影关系由 k' 求出 k 和 k''。常用的方法有辅助纬线（圆）法和辅助素线（直线）法两种。

作图：

方法（一）辅助纬线法，见图6-7a、b。

1）过点 K 作一平行于底面的辅助纬圆，即在正面投影中过点 k' 先作一横平线 $1'2'$，则 $1'2'$ 即为辅助纬圆的正面投影，并反映辅助纬圆的直径；再在水平投影上，以点 s 为圆心，$1'2'/2$ 为半径作圆，该圆即为辅助纬圆的水平投影。

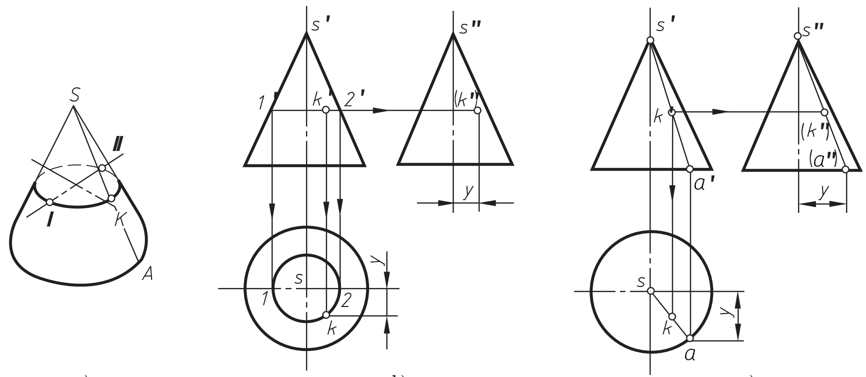
2）因为点 K 在辅助纬圆上，所以点 K 的水平投影 k 一定在辅助纬圆的水平投影圆上，根据长对正由 k' 可求得 k。

3）由 k' 和 k 可求得（k''）。

讨论：如果已知圆锥表面上点 K 的水平投影 k 或侧面投影（k''），求另外两个投影。此时应如何用辅助纬线法求解？请读者自行完成。

方法（二）辅助素线法，见图6-7a、c。

因圆锥表面的素线均为直素线，所以本题也可以过圆锥顶点 S 和点 K 作辅助素线 $S(K)A$，见图6-7a，并求出其三个投影，再按投影关系由 k' 求出 k 和(k'')，见图6-7c。具体步骤请读者自己分析。需要说明的是：在本例题中，点 K 位于右半个圆锥面上，在左视图上的投影为不可见，故标记为（k''）。



a)　　b)　　c)

图 6-7　求圆锥表面上点的投影

a）轴测图　b）用辅助纬线法求解　c）用辅助素线法求解

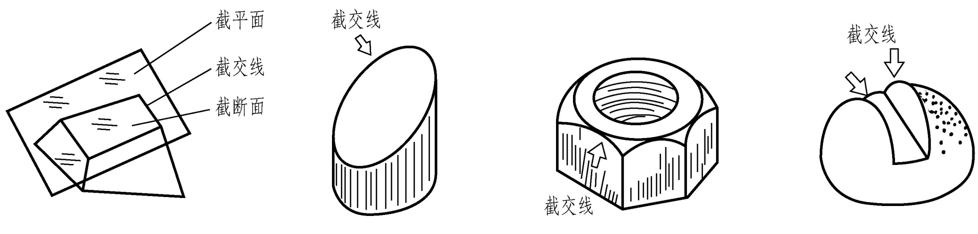
第四节　立体表面交线

在物体上经常遇到平面与立体表面相交以及立体与立体表面相交而产生的交线——截交线和相贯线。因此，为了迅速、正确地画出物体的三视图，除了要正确画出物体上的棱线和投影轮廓线的投影外，还必须熟练掌握这些立体表面交线的画法。下面分别予以介绍。

一、截交线

（一）截交线的概念

平面与立体表面相交产生的交线称为截交线，见图 6-8；截切立体的平面称为截平面；而立体被截切后形成的平面，即截交线所围成的平面称为截断面或断面。



a)　　b)　　c)　　d)

图 6-8　截交线

a）截切平面立体　b）截切圆柱体　c）截切圆锥体　d）截切球体

（二）截交线的性质

1）截交线是截平面与立体表面的共有线，即截交线上的点都是两者的共有点，既在截平面上，又在立体表面上。

2）截交线一般是由直线或曲线或直线和曲线围成的封闭的平面图形。

3）截交线的形状取决于立体的形状以及截平面与立体的相对位置（其投影的形状则还取决于截平面与投影面的相对位置）。

（三）几种常见曲面立体（回转体）的截交线

平面立体的截交线都是由直线围成的平面多边形，形状和画法都比较简单；而曲面立体的截交线一般都是由曲线或直线和曲线围成的平面曲线（特殊情况下，才是由直线围成的平面多边形），其形状和画法都比较复杂，是本节讨论的主要对象。其中，圆柱、圆锥和圆球的截交线尤为常见。

1. 圆柱的截交线

截切圆柱时，截平面与圆柱轴线的三种不同相对位置及其相应的截交线见表6-2。

2. 圆锥的截交线

平面截切圆锥时，截平面与圆锥的各种相对位置及其相应的截交线形状见表6-3。

3. 圆球的截交线

平面截切圆球时，无论截平面位置如何，都与球的轴线垂直，其截交线均为圆。只是截平面相对于投影面的位置不同，其截交线的投影可以是直线、圆或椭圆，见表6-4。

表6-2　圆柱的截交线

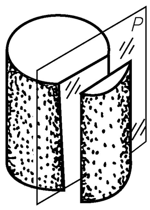
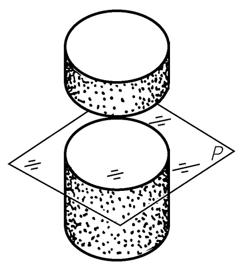
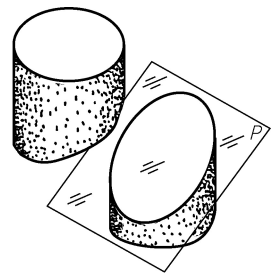
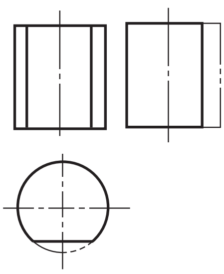
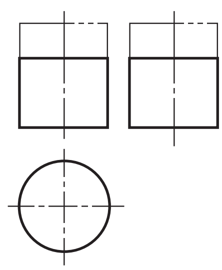
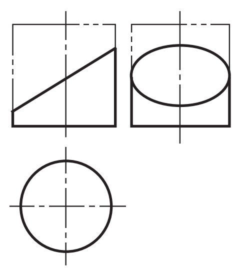
截平面位置	与轴线平行	与轴线垂直	与轴线倾斜
截交线形状	矩　形	圆	椭　圆
轴测图			
投影图			

表6-3　圆锥的截交线

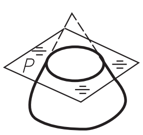
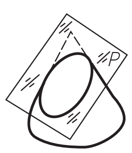
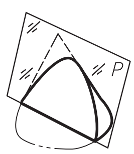
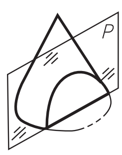
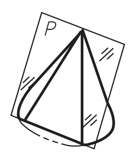
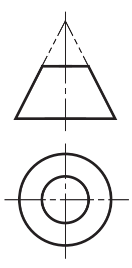
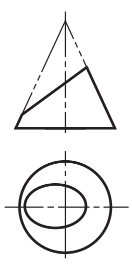
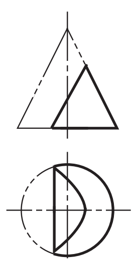
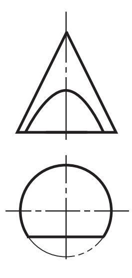
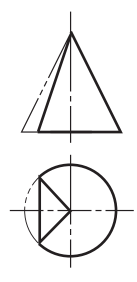
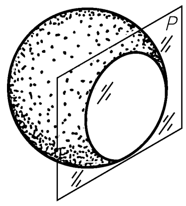
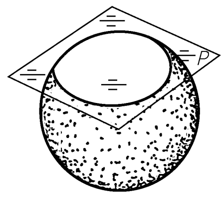
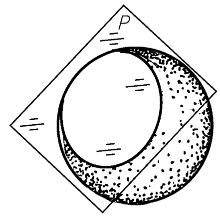
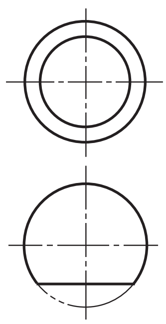
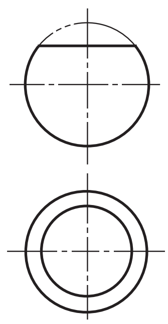
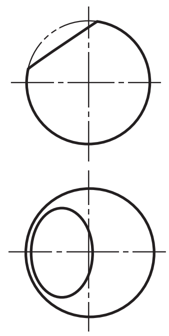
截平面位置	垂直于轴线	与所有素线相交	平行于一条素线	平行于轴线	过锥顶
截交线形状	圆	椭　圆	抛物线	双曲线	两直线
轴测图					
投影图					

表 6-4　圆球的截交线

截平面位置	正平面	水平面	正垂面
截交线形状	圆	圆	圆
轴测图			
投影图			

（四）截交线的画法

在前面讲述带切口立体的三视图时，事实上形成切口的平面就是截平面，它与立体表面的交线就是截交线。其中切口四棱台为平面与平面立体相交，切口圆柱体和切口半球体为平面与曲面立体相交，且截平面与它们的轴线平行或垂直，所以上述三例中，截交线均为直线和圆，比较容易画出，已在前面讲解。下面通过实例说明包含非圆平面曲线的截交线画法。

例 6-8　已知：圆柱被正垂面 *P* 斜截后的主、俯视图，见图 6-9a。

求作：它的左视图。

分析：正垂面 *P* 与圆柱轴线斜交，由表 6-2 可知截交线为一椭圆，其正面投影积聚成直线，水平投影与圆柱的水平投影（圆）重合。所以，画出左视图主要是画出截交线的侧面投影。可利用圆柱表面取点（二求三）的方法求出截交线上一系列点的侧面投影，再光滑连接各点即可。

作图：

1）求出截交线上特殊点的投影，如最低点Ⅰ、最高点Ⅱ（Ⅰ、Ⅱ又是椭圆长轴的两端点和圆柱正面投影轮廓线上的点）、最前点Ⅲ和最后点Ⅳ（Ⅲ、Ⅳ又是椭圆短轴的两端点和圆柱侧面投影轮廓线上的点）等特殊点的侧面投影 1″、2″、3″、4″，见图 6-9b。

2）用表面取点的方法，求得一般位置点Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ的侧面投影 5″、6″、7″、8″，见图 6-9c。

3）按照各点水平投影中的顺序依次光滑连接侧面投影上的各点，即得截交线的侧面投影——椭圆。并画全斜截圆柱体的左视图，见图 6-9d。

例 6-9　已知：圆锥被侧平面截切后的主、俯视图，见图 6-10a、b。

求作：它的左视图。

分析：由于截平面是侧平面，与圆锥轴线平行，故由表 6-3 可知截交线为双曲线。并且其侧面投影反映实形，水平投影和正面投影均积聚成直线，所以截交线的投影也在这两条直线上，即截交线的两个投影是已知的，因此可用表面取点的方法求得侧面投影。

作图：见图 6-10c。

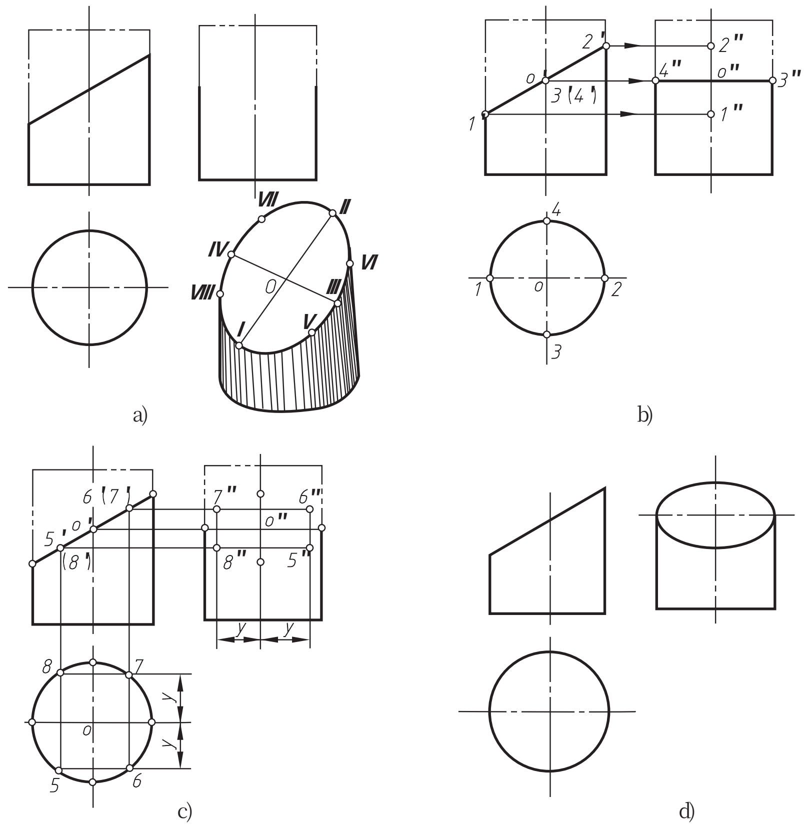


图6-9　斜截圆柱体截交线的画法

a）给题　b）求特殊点侧面投影　c）求一般点侧面投影　d）光滑连接各点

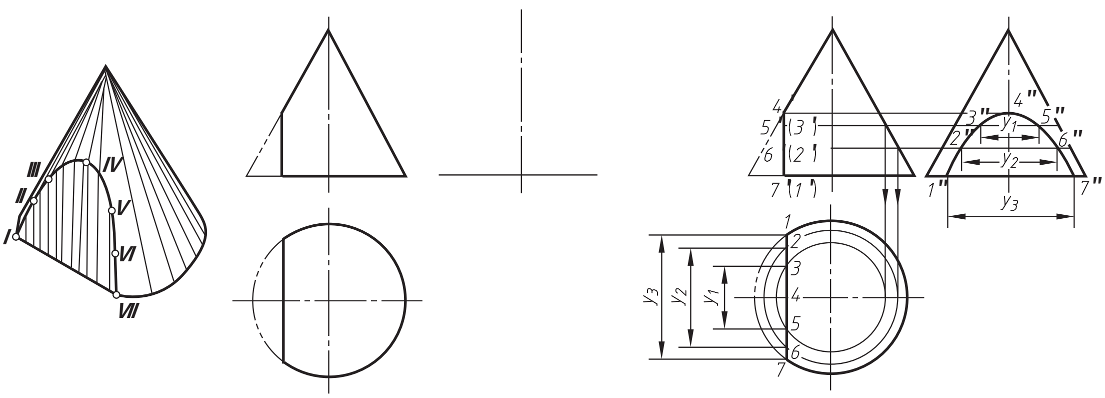


图6-10　圆锥被侧平面截切的截交线画法

a）轴测图　b）给题　c）求出截交线的侧面投影

1）求出截交线上的特殊点Ⅳ（最高点，又是正面投影轮廓线上的点）、Ⅶ（最前、最低点）、Ⅰ（最后、最低点）的侧面投影4″、7″和1″。

2）用辅助纬线法求一般点Ⅱ、Ⅵ的侧面投影。在正面投影中，过点6′、(2′) 作辅助纬圆——投影为一水平直线段，且反映辅助纬圆的直径；以此直径为直径，作出反映辅助纬圆实形的水平投影圆，该圆与截交线水平投影直线的两个交点即为6和2；再由“高平齐、宽相等”即可求得侧面投影6″和2″。

3）同理，沿用此法可求得截交线上的Ⅲ、Ⅴ等一系列一般点的侧面投影3″、5″等。

4）依次光滑连接以上各点，即得截交线的侧面投影。最后，再画全左视图。

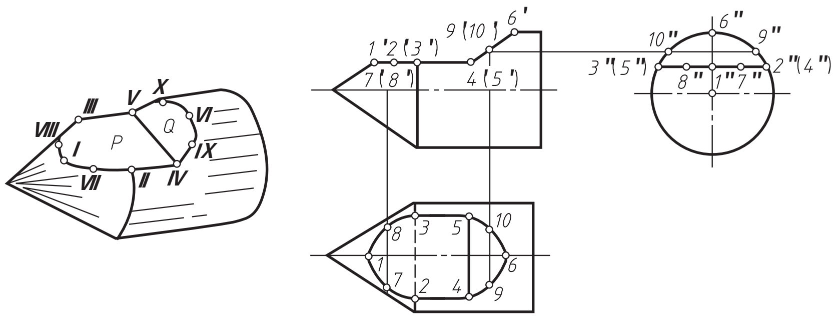
讨论：本题也可以使用辅助素线法求解，只要作图正确，其结果一定是相同的。

上面两个例题介绍了基本体表面截交线的求法。当平面截切组合体时，首先必须分析它是由哪些基本体组成的，并找出它们的分界线；然后分别求出它们的截交线及其分界点，也是连接点，则连接点将几段不同的截交线连接而成的组合平面图形即为组合体的截交线。下面举例说明其求法。

例 6-10　已知：机床顶尖头部被 P、Q 两平面截切，形成切口，见图 6-11a。

求作：截交线的投影和顶尖的三视图。

分析：图 6-11a 所示的顶尖是由同轴线的圆柱和圆锥组成的，公共底圆是它们的分界线。按图 6-11a 所示位置放置时，顶尖的轴线为侧垂线，P 为水平面，Q 为正垂面。平面 P 截切圆锥的截交线为双曲线ⅡⅠⅢ，截切圆柱的截交线为两条直素线ⅡⅣ和ⅢⅤ；平面 Q 截切圆柱的截交线为椭圆弧ⅣⅥⅤ。由于平面 P 在主、左视图上均积聚成直线，平面 Q 在主视图上也积聚成直线，在左视图上与圆柱的投影圆重合（指截交线部分），因此截交线的正面投影和侧面投影均可视为已知，故只需求出水平投影。



a)　　　　b)

图 6-11　组合体截交线的求法

a）轴测图　b）作出截交线和三视图

作图：见图 6-11b。

1）作出水平面 P 截切圆锥所得的截交线——双曲线的水平投影（作法参见例 6-9）。先作出特殊点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的水平投影 1、2、3；再作出一般点Ⅶ、Ⅷ的水平投影 7、8；最后光滑连接 2、7、1、8、3 各点。

2）作出正垂面 Q 截切圆柱所得的截交线——椭圆弧的水平投影（作法参见例 6-8）。先作出特殊点Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ的水平投影 4、5、6；再作出一般点Ⅸ、Ⅹ的水平投影 9、10；最后光滑连接 4、9、6、10、5 各点。

3）作出水平面 P 截切圆柱所得的截交线——两条直素线的水平投影。分别连接 2、4 和 3、5，则 24 和 35 即为所求两直线（因为 2、3、4、5 四点为三组截交线的连接点）。

4）画出 P、Q 两平面交线的水平投影。连线 45 即为所求。

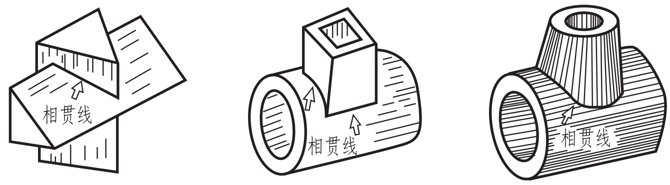
5）补画圆柱和圆锥公共底圆的水平投影。过 2、3 两点的直线段，且 2、3 两点的外侧为粗实线，2、3 两点间为虚线。

6）检查、整理，加深图线，完成全图。

二、相贯线

（一）相贯线概念

两立体相交产生的表面交线称为相贯线。根据两立体的几何性质不同，相贯线又可分为：两平面立体相贯，见图 6-12a；平面立体和曲面立体相贯，见图 6-12b；两曲面立体相贯，见图 6-12c。前两种情况的相贯线



a)　　b)　　c)

图 6-12　相贯线

a）两平面立体相贯　b）平面立体与曲面立体相贯　c）两曲面立体相贯

比较简单，总由直线、平面曲线所组成，作图容易，所以本节只讨论两曲面立体相贯的相贯线。

（二）相贯线的性质

两曲面立体的相贯线具有如下性质：

1）相贯线是两曲面立体的共有线（相贯线上的点是两曲面立体的共有点），因此相贯线的投影必定在两曲面立体的公共投影部分。

2）两曲面立体的相贯线在一般情况下是封闭的空间曲线，见图6-12c，特殊情况下可以是平面曲线（见图6-16）或直线（参见图8-12b）。

3）相贯线的形状取决于两立体的形状及其相对位置。当两立体为回转体时，其相对位置有两立体的轴线正交（90°相交）、斜交（非90°相交）、偏交（两轴线交叉）。本节只讨论最为常见的正交相贯。

（三）求两曲面立体相贯线的方法

根据具体情况的不同，求两曲面立体的相贯线可分别采用如下三种不同的方法。

1. *表面取点法*

当两曲面立体的投影均具有积聚性时，可利用积聚性并通过表面取点的方法求得相贯线。

例6-11 已知：两圆柱体的轴线垂直相交，见图6-13a。

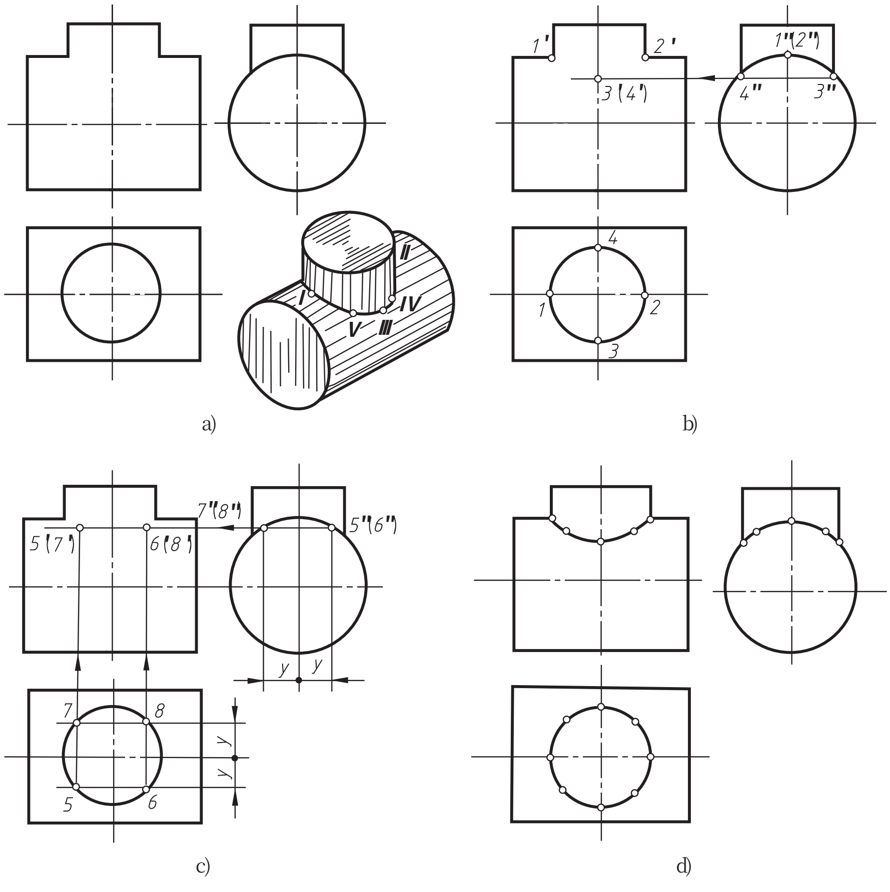


图6-13 求两个正交圆柱的相贯线

a）轴测图和已知两投影 b）求特殊点的正面投影

c）求一般点的正面投影 d）连接各点并整理、加深

求作：它们的相贯线的投影。

分析：由图6-13a可知，两正交相贯圆柱的轴线分别垂直于水平面和侧平面，故小圆柱的水平投影和大圆柱的侧面投影均积聚为圆。又相贯体具有前后、左右的对称面，因此相贯线应为前后、左右对称的一条封闭的空间曲线。由于小圆柱全贯（所有素线都参加相贯）于大圆柱，因此相贯线的水平投影

在小圆柱的投影圆上，而侧面投影在大圆柱投影圆的一段圆弧上（与小圆柱公共投影的部分）。根据这两个已知投影，就可以用表面取点的方法求出相贯线的正面投影。

作图：(1) 求特殊位置点　1′、2′为两圆柱正面投影轮廓线的交点，定是相贯线上的点，同时它们又是相贯线的最高点，最左、最右点，相贯线在正面投影上可见与不可见部分的分界点，由投影关系可求得 1、2 和 1″、(2″)；同理，在侧面投影上，3″、4″也是相贯线上的点，且为相贯线的最前、最后点，也是最低点，由投影关系可求得 3、4 和 3′、(4′)，见图 6-13b。

(2) 求一般位置点　在相贯线水平投影的圆上取一般位置点 5，则根据“宽相等”可求得它在左视图上的相应投影 5″；再根据“长对正”，由 5 向上投射，根据“高平齐”，由 5″向左投射，其交点即为正面投影 5′。同理，可求得 6′、(7′)、(8′) 等一系列一般位置点的正面投影，见图 6-13c。

(3) 依次连接可见点 1′、5′、3′、6′、2′　因相贯线前后对称，所以不可见部分与可见部分重影，不用连接，最后整理、加深，完成全图，见图 6-13d。

讨论：

1) 本例是两个实心圆柱即两个外圆柱面正交相贯，见图 6-14a。若将垂直小圆柱变成一个圆柱孔，则变成内圆柱面和外圆柱面正交相贯，见图 6-14b。或将两个圆柱同时变成两个圆柱孔，成为两个内圆柱面正交相贯，见图 6-14c。从图 6-14 中可以看出，相贯线的形状并不发生变化，因此求其相贯线的作图方法也是一样的。

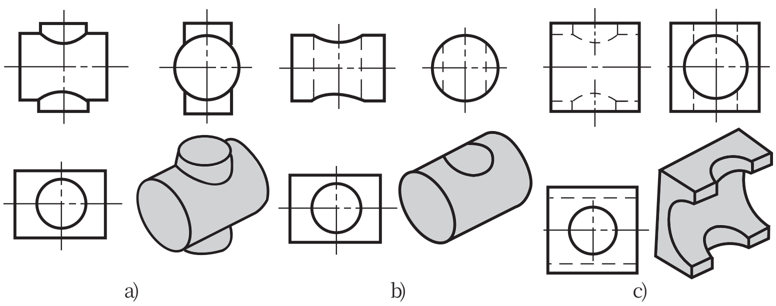


图 6-14　两圆柱（或圆柱孔）正交相贯的三种形式

a) 两圆柱相贯　b) 圆柱与圆柱孔相贯　c) 两圆柱孔相贯

需要注意的是：此时孔的投影轮廓线（图 6-14c 中包括相贯线）均为不可见，应画成虚线。

2) 当正交相贯两圆柱的直径相对变化时，相贯线的形状和位置也随之变化，见图 6-15。在图 6-15a、c 中可以看出，较小圆柱的素线全部与大圆柱相贯，而大圆柱只有一部分素线参与其相贯，因此两圆柱相贯线的正面投影必然向大圆柱内弯曲，即图 6-15a 时，相贯线是上、下两条曲线；图 6-15c 时，相贯线是左、右两条曲线。尤其要注意的是，当两圆柱直径相同时（简称等径相贯），相贯线由两条空间曲线变化为两条平面曲线——两个垂直于正面的椭圆。此时它的正面投影为相交两直线，见图 6-15b。图 6-16 所示为两圆柱等径相贯的三种常见情况。

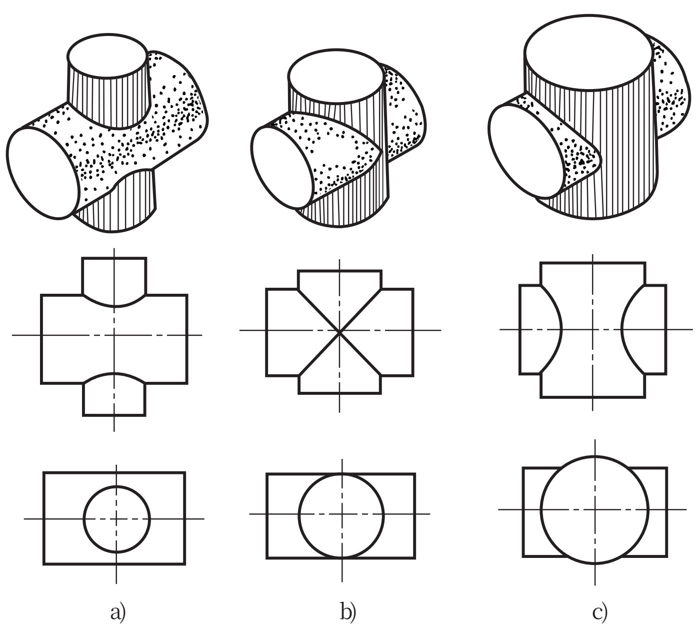


图 6-15　圆柱（铅垂圆柱）直径变化时相贯线的变化

a) 铅垂圆柱直径小时　b) 等径相贯时　c) 铅垂圆柱直径大时

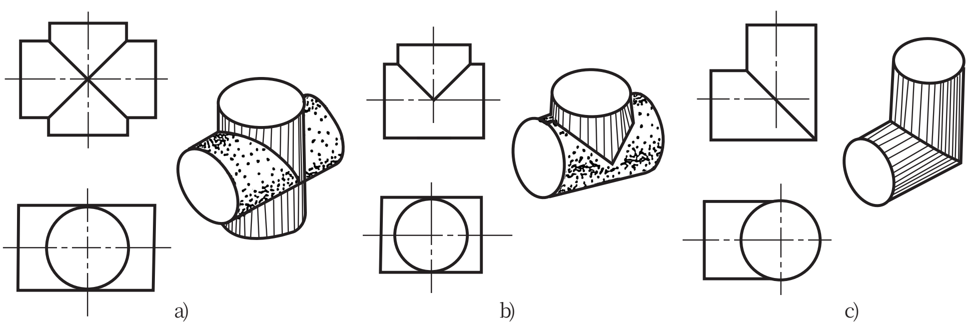


图6-16　两圆柱等径相贯的三种常见情况

2. 辅助平面法

求两曲面立体的相贯线时，有时无积聚性可利用，此时可以作与两个曲面立体都相交（也可以与立体相切，有切线）的辅助平面切割这两个立体，产生两条截交线，这两条截交线（或切线）的交点是辅助平面和两曲面立体表面的三面共有点，即为相贯线上的点。如图6-17所示，P、Q为两曲面，为求其表面交线（相贯线）MN，可作一辅助平面R，面R分别与面P、Q相交产生交线Ⅰ、Ⅱ，则Ⅰ和Ⅱ的交点K是P、Q、R三面的共有点，必是相贯线MN上的点。同理，再作若干个辅助平面，即可求得一系列的共有点，这些点的连线就是P、Q相交的相贯线MN。

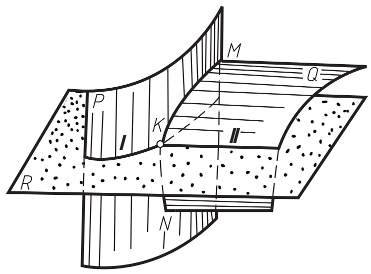


图6-17　用辅助平面法求相贯线原理——三面共点

例6-12　已知：圆柱与圆台正交相贯，见图6-18a。

求作：它们的相贯线。

分析：由已知条件知圆柱和圆台的轴线垂直相交，且圆柱轴线是侧垂线，圆台轴线是铅垂线。圆柱贯穿（即全贯）圆台，因此相贯线是两条闭合的空间曲线，其侧面投影与圆柱的侧面投影圆重影，故只需求相贯线的水平投影和正面投影。由于这两个投影无积聚性可利用，因而需采用辅助平面法求其相贯线。显然，这里应以水平面为辅助平面，与圆柱的截交线是两条直素线，与圆台的截交线是圆，作图比较简便。又由于这里两条相贯线的水平投影和正面投影都是左、右对称的，作法也完全相同，所以下面只介绍一条相贯线的画法。

作图：见图6-18b、c。

（1）求特殊位置点　在图6-18b中，1′、2′两点为圆柱与圆台的正面投影轮廓线的交点，也是相贯线上的最高点、最低点，又是相贯线在正面投影上可见与不可见的分界点，由投影关系可求得1、(2)和1″、2″。再过圆柱轴线作辅助水平面R，R与圆台的交线为圆，与圆柱的交线为两条直素线，且为圆柱水平投影的投影轮廓线。画出两交线的水平投影，其交点3、4即为相贯线上的点Ⅲ、Ⅳ的水平投影，且为相贯线水平投影中可见与不可见的分界点，由投影关系可求得3′、(4′)和3″、4″。

（2）求一般位置点　见图6-18c，在适当位置作辅助水平面Q，则面Q的正面投影与侧面投影积聚为两条等高的直线。其中侧面投影的直线与相贯线的侧面投影圆的两个交点，即为相贯线上的点5″、6″，由5″、6″根据“宽相等”可作出面Q与小圆柱截交线水平投影的两条直线；再作出面Q与圆台截交线的水平投影圆，则两直线与圆的两个交点即为5、6；最后根据“长对正”由5、6向上投射，与面Q的正面投影直线的交点即为5′、(6′)。同理，可求得一系列一般位置点的投影（图中省略未作）。

（3）判别可见性　对某一投影面来说，相贯线只有同时位于两立体的可见表面上才是可见的，否则是不可见的。本题相贯线的水平投影以点3、4为分界，在圆柱上半部是可见的，下半部是不可见的。可见点依次连成粗实线，不可见点依次连成虚线；在正面投影上，相贯线前后重影，只需用粗实线连接前面的可见点，见图6-18d。

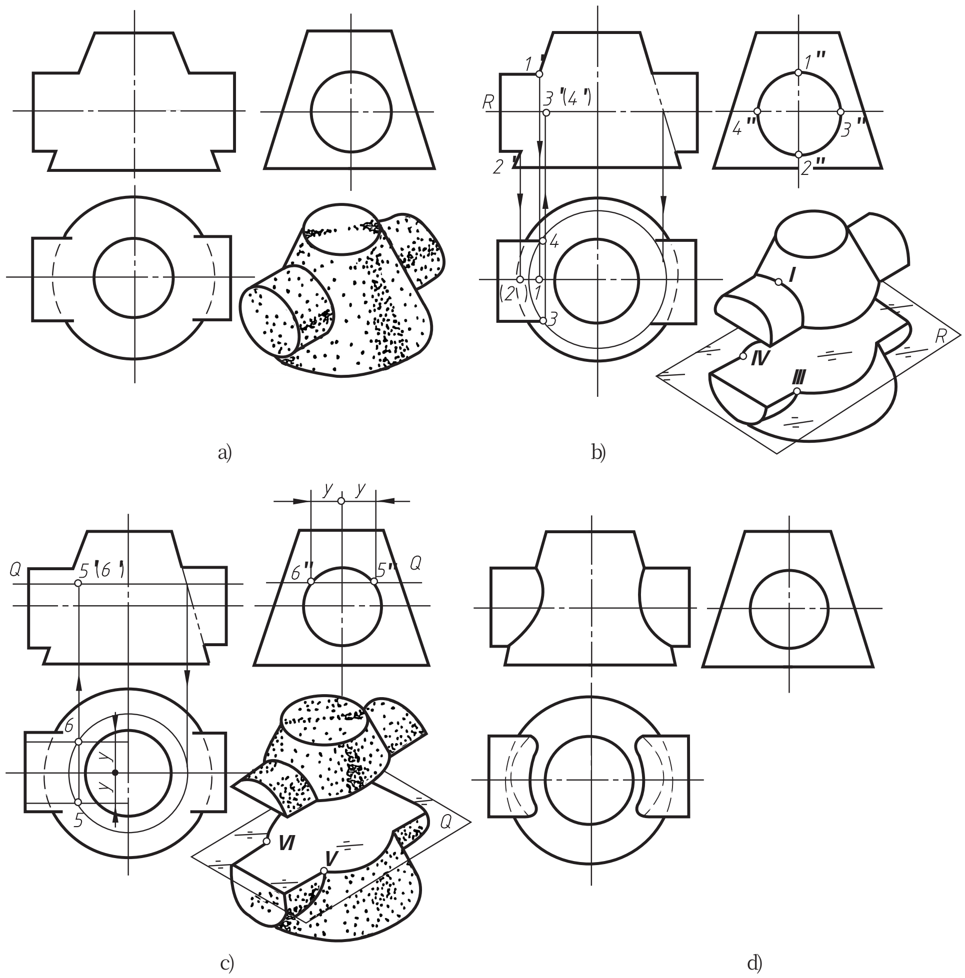


图 6-18　求作圆柱与圆台正交相贯时的相贯线

a）轴测图和给题　b）求特殊点　c）求一般点　d）连接各点并整理、加深

（4）补全两立体的投影　整理、加深，完成全图，见图 6-18d。

3. 辅助球面法

用表面取点法求作相贯线时，必须是两立体表面的投影具有积聚性，才可利用其积聚性作图。用辅助平面法时，必须使所作辅助平面切割两立体时得到简单交线——直线或圆，才便于作图和求解，这在多数情况下是可行的。但在上例中，如果圆柱和圆锥的轴线斜交时，则将找不到这样合适的辅助平面，此时就需要用辅助球面法来求解。本书限于篇幅，不再介绍辅助球面法，需要时可参考其他有关书籍。

（四）相贯线的简化画法

立体上的相贯线，若按上述求点、连线的方法，即按真实投影绘制要花费不少精力和时间。在实际生产中，除钣金工下料等少数情况，要求将相贯线在图样上精确画出外，一般铸、锻、机械加工等则要求不高，可以采用简化画法。国家标准 GB/T 16675. 1—2012《技术制图　简化表示法　第 1 部分：图样画法》中，规定相贯线可以采用代替画法或模糊画法。所谓代替画法，就是

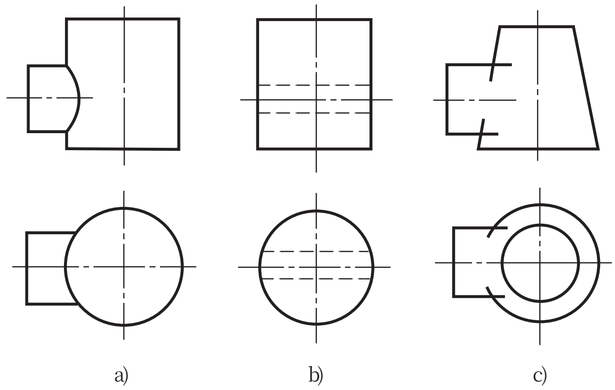


图 6-19　相贯线的简化画法

a）圆弧代替画法　b）直线代替画法　c）模糊画法

用圆弧或直线来代替非圆曲线的相贯线，见图6-19a、b；模糊画法是：当两立体在各视图中已清楚表达出立体的形状、大小及相对位置的情况下，可在应有相贯线投影的视图上，将两立体的轮廓线画成相交，各伸出约2～5mm，见图6-19c。

第五节　画组合体的三视图和标注尺寸

在工程制图中，通常把棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、圆球等比较简单的物体称为基本立体或基本形体，简称基本体。而把由若干基本体按一定方式组合而成的比较复杂的物体，称为组合立体或组合形体，简称组合体。

一、组合体的形成方式

组合体的形成方式可分为叠加和切割两种基本方式，以及既有叠加、又有切割的综合方式。

（一）叠加

（1）叠合　当两个基本体的表面互相重合时的叠加方式称为叠合。如图6-20所示，基本体Ⅰ的下底面与基本体Ⅱ的上表面互相叠合在一起。

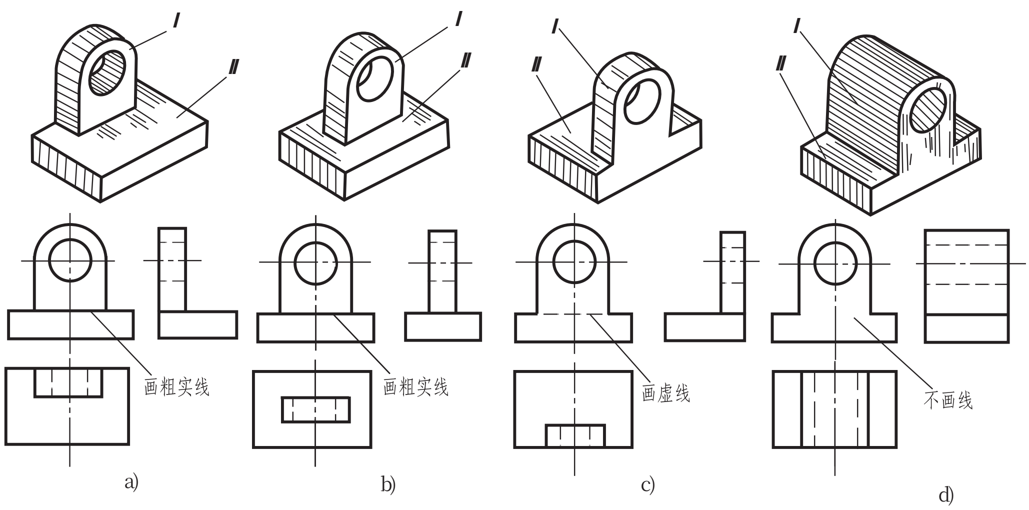


图6-20　组合体的形成方式——叠合叠加

a）前表面不平齐，后表面平齐　b）前、后表面都不平齐　c）前表面平齐，后表面不平齐　d）前、后表面都平齐

需要注意的是：上、下两个基本体的前、后表面的相对位置有平齐或错开等多种情况，在画图时，相应在主视图上两形体的叠合面处的画法也不同。前表面不平齐、后表面平齐时应画粗实线，见图6-20a；前、后表面都不平齐时，虚线与粗实线重影，所以也只画粗实线，见图6-20b；前表面平齐、后表面不平齐时应画虚线，见图6-20c；前、后表面都平齐时，应不画线，见图6-20d。

（2）相切　两个基本体表面（平面与曲面或曲面与曲面）相切的叠加方式称为相切。相切叠加时，在相切处光滑过渡，不存在轮廓线，故不画分界线。如图6-21所示的组合体，其底板前后两侧面与圆柱表面相切，在主、左视图上相切处均不画切线的投影，且底板的上表面在主、左视图上投影的直线均应画到相切处的切点为止。

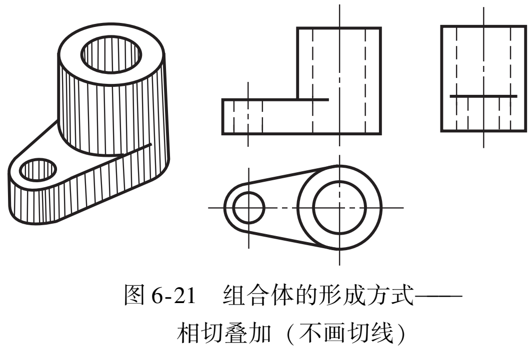
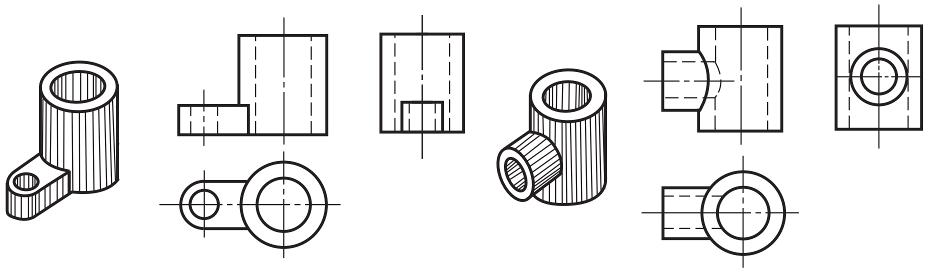


图6-21　组合体的形成方式——相切叠加（不画切线）

（3）相交　两个基本体的表面相交的叠加方式称为相交。相交叠加时，应画出交线的投影。如图

6-22a 所示组合体，左下方底板前后两侧面与圆柱表面相交，其交线应画出。图 6-22b 中，带孔小圆柱与带孔大圆柱的内、外表面都相交，其内、外相贯线分别为虚线和实线，都应画出。

需要注意：上述底板和圆柱体相切或相交叠加后，圆柱体在主视图上该位置处的投影轮廓线因叠加而消失，故此处不应再画线，见图 6-21 和图 6-22。

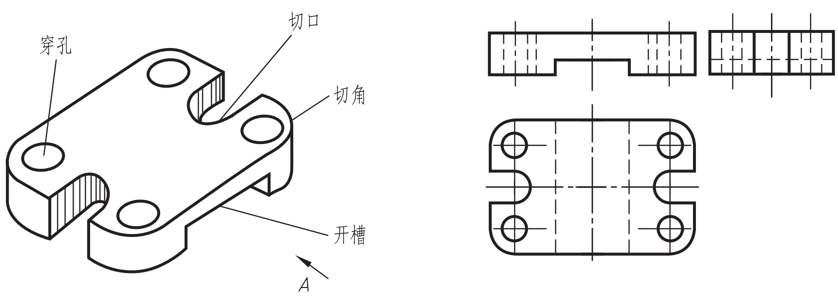


a)　　b)

图 6-22　组合体的形成方式——相交叠加（画出交线）

(二) 切割

组合体也可由切割方式形成。所谓切割，就是在某个（或某几个）基本体上切去一部分材料，从而在形体上形成沟、槽、坑、洼、孔等结构。如图 6-23a 所示的底板，它是在基本体长方体上经切角、切口、开槽、穿孔等切割以后形成的组合体。图 6-23b 是它的三视图。



a)　　b)

图 6-23　组合体的形成方式——切割

a）轴测图　b）三视图

(三) 综合方式

一般组合体以既有叠加、又有切割的综合方式形成，见图 6-24a。

二、形体分析法

通常在画组合体三视图、标注组合体尺寸以及读组合体视图时，首先需要将组合体分解为若干基本体，分析其如何叠加，又经过了哪些切割，切割了什么形体，并分析各组成部分的相对位置如何，从而明确组合体由哪些基本体组合而成，明确切割情况以及它们的相对位置和组合方式，这种分析称为形体分析。通过形体分析，全面了解组合体的结构形状。

在上述形体分析的基础上，再逐一画出各个基本体的三视图和标注尺寸，并根据基本体组合为组合体时，对视图和尺寸引起的变化，作出相应的调整，从而最终得到组合体的三视图和尺寸。这种解决问题的过程和方法称为形体分析法。这是画组合体视图和标注尺寸的最基本、也是最重要的方法，同时也是读组合体视图的基本方法。下面通过实例来说明如何进行形体分析，以及如何用形体分析法画组合体的三视图和标注尺寸。

三、画组合体的三视图

下面举例说明用形体分析法画组合体三视图的具体步骤。

例6-13　已知：支座的轴测图，见图6-24a。

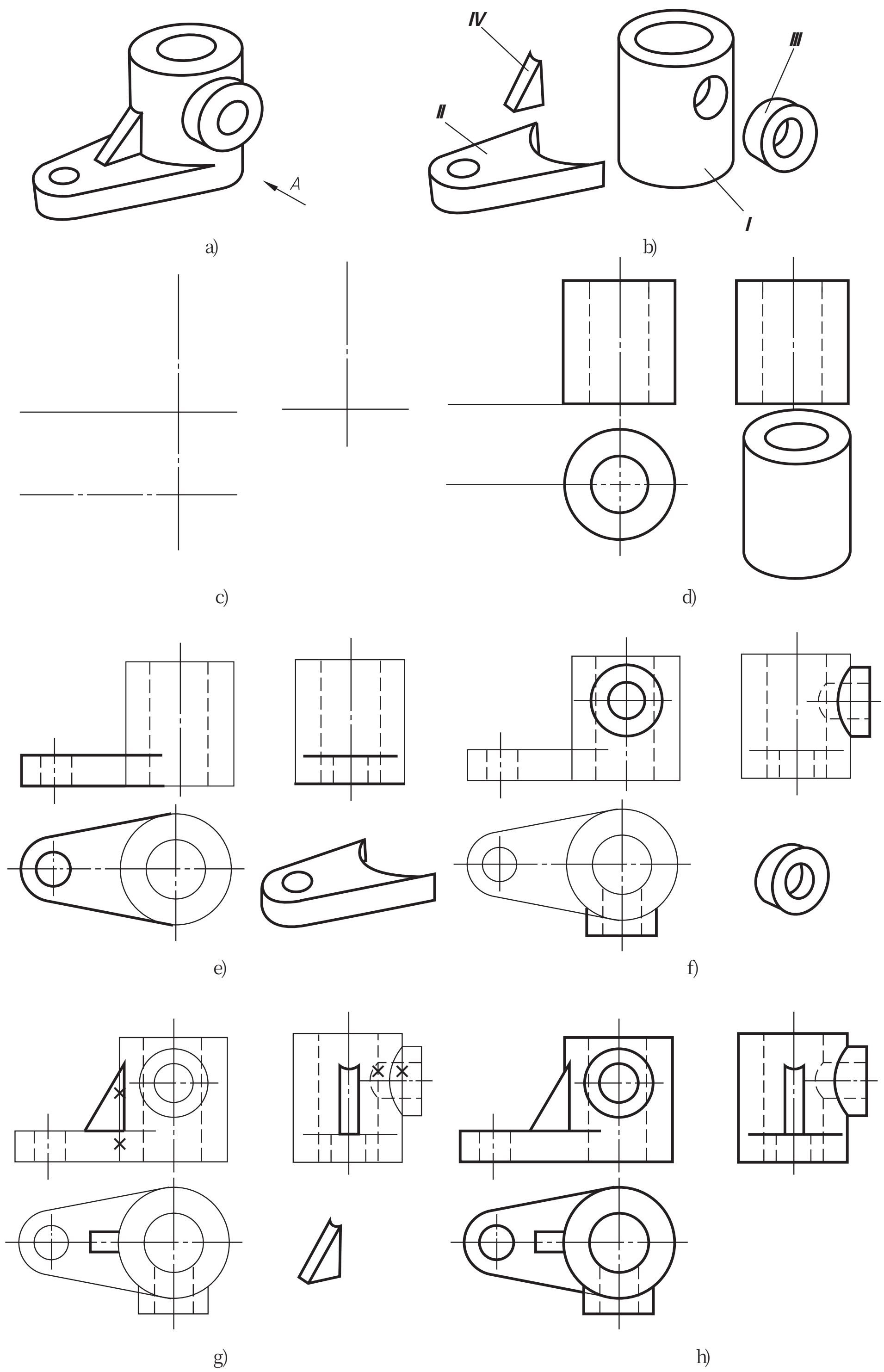


图6-24　组合体（支座）三视图的画法

求作：它的三视图。

作图：(1) 形体分析　图6-24a所示的支座是由直立大圆筒Ⅰ、底板Ⅱ、小圆筒Ⅲ以及肋板Ⅳ四个基本体所组成的，见图6-24b，并在形体Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ上都进行了切割（穿孔）。又底板Ⅱ位于大圆筒的左侧，与大圆筒相切叠加，并且两者的下底面平齐；小圆筒Ⅲ位于大圆筒Ⅰ的前方偏上的位置，与大圆筒正交相贯；同时小圆筒的内孔与大圆筒的内孔也为正交相贯；肋板Ⅳ位于底板的上面，大圆筒的左

侧，与底板叠合，与大圆筒相交。

（2）选择主视图　画图前首先要选择主视图，即确定组合体的安放位置和主视图的投射方向（同时也就确定了俯、左视图的投射方向）。

一般应将组合体放稳、放正，主视图的投射方向应能较多地反映组合体的结构形状，称为形状特征原则。根据这一原则，支座应按图 6-24a 所示的位置放置，并按图中箭头所指的 A 方向作为主视图的投射方向。

（3）确定比例和图幅　根据组合体的大小和复杂程度选定绘图比例，并根据视图、尺寸和标题栏等所占的位置，确定所需的图纸幅面。

（4）画图

1）画作图基准线，以合理确定各视图的布局，见图 6-24c。基准线常选用组合体的底面、对称面、重要的端面以及回转体的轴线等。

2）画大圆筒的三视图，见图 6-24d。

3）画底板的三视图，底板与大圆筒相切处不画切线，见图 6-24e。

4）画小圆筒的三视图，要画出它与大圆筒的内、外相贯线，见图 6-24f。

5）画肋板的三视图，要正确画出它与大圆筒的交线，见图 6-24g。

6）检查、改正、整理，如应删去图 6-24g 中打“×”处的多余图线等。最后加深图线，完成全图，见图 6-24h。

（5）需要注意的事项

1）为了严格保持三视图之间“长对正、高平齐、宽相等”的投影关系，并提高画图速度，不应孤立地完成一个视图后再画其他两个视图，而应将每一个基本体的三视图联系起来同时作图。

2）在逐个画出各基本体的三视图时，一般应先画反映实形（圆或多边形等）的视图，而对于切口、槽、孔等被切割部分，则应从有积聚性的投影画起。

3）注意叠合、相交、相贯、相切时的画法，以及由于形体组合而引起的其他变化，一并作出相应的调整，也可以边画图边调整（请读者分析，本例题中作了哪些调整）。

四、组合体的尺寸注法

本节主要介绍如何完整、清晰地标注组合体的尺寸。

标注组合体尺寸的方法仍然是形体分析法。首先逐个标出各个基本体的形状和大小的尺寸——定形尺寸；然后标注出各基本体间的相互位置尺寸——定位尺寸；最后标注出组合体的总体尺寸（外形尺寸），并进行必要的尺寸调整。由此可见，前面介绍的基本体的尺寸注法（见表 6-1）是标注组合体尺寸的基础，必须熟练掌握。下面仍以支座为例说明组合体尺寸的注法。

例 6-14　试在例 6-13 中画出的支座的三视图上（见图 6-24h）标注尺寸。

（1）形体分析　在上面介绍组合体三视图的画法时，已经对支座作了形体分析，所以此处不再重复。

（2）选择尺寸基准　在标注组合体的尺寸时，通常选取回转体的轴线、组合体的对称面、重要的端面、底面等作为标注尺寸的起点，称为尺寸基准。在组合体的长、宽、高三个方向上一般至少都应有一个尺寸基准。对于支座，可选用底板的底面作为高度方向的尺寸基准；支座前后的基本对称面为宽度方向的尺寸基准；大圆筒和小圆筒轴线所在的平面为长度方向的尺寸基准，见图 6-25。

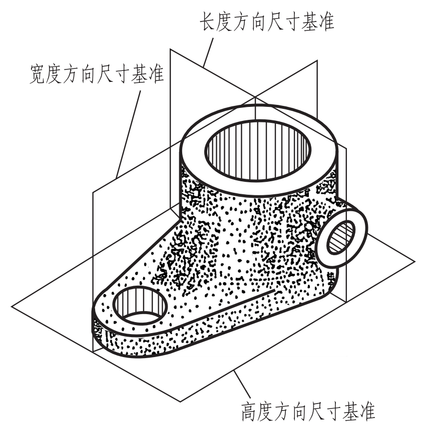


图 6-25　尺寸基准的选择

（3）逐个标注出组成支座的各基本体的尺寸

1）标注大圆筒的尺寸，见图 6-26a。

2）标注底板的尺寸，见图6-26b。

3）标注小圆筒的尺寸，见图6-26c。

4）标注肋板的尺寸，见图6-26d。

需要注意的是：在标注组合体中各基本体的尺寸时，除了要标注其定形尺寸（见表6-1）外，还要同时标注各基本体之间的定位尺寸，如底板尺寸36，小圆筒尺寸16，肋板尺寸28等。

（4）标注组合体的总体尺寸并进行必要的尺寸调整　一般应直接标出组合体长、宽、高三个方向的总体尺寸，即总长、总宽、总高。但当在某个方向上组合体的一端或两端为回转体时，则应标注出回转体的定形尺寸和定位尺寸，总体尺寸不再直接注出。如支座长度方向注出了定位尺寸36以及定形尺寸$R10$和$\phi40$，通过计算可间接得到总长尺寸为66。同理，通过计算尺寸25和$\phi40$，可得到总宽尺寸为45。大圆筒的高度尺寸28同时又是组合体的总高尺寸。

组合体在按上述步骤和方法进行尺寸标注，满足正确、完整要求的同时，还应注意尺寸的配置要有条不紊，使所注尺寸清晰易看，不致造成误解和错误。为此，应注意以下几点：

1）组合体的尺寸应尽量集中标注在反映各形体形状特征的视图上。例如在图6-26中，底板的尺寸$\phi12$、$R10$、36（除厚度7外）都集中标注在反映底板实形的俯视图上。显然其中的圆弧半径$R10$不宜标注在主视图上，更不能标注在左视图上。

2）直径尺寸一般标注在非圆视图上较为清晰，而在圆上尤其是在一系列的同心圆上标注多个直径尺寸时会很不清晰，见图6-27。

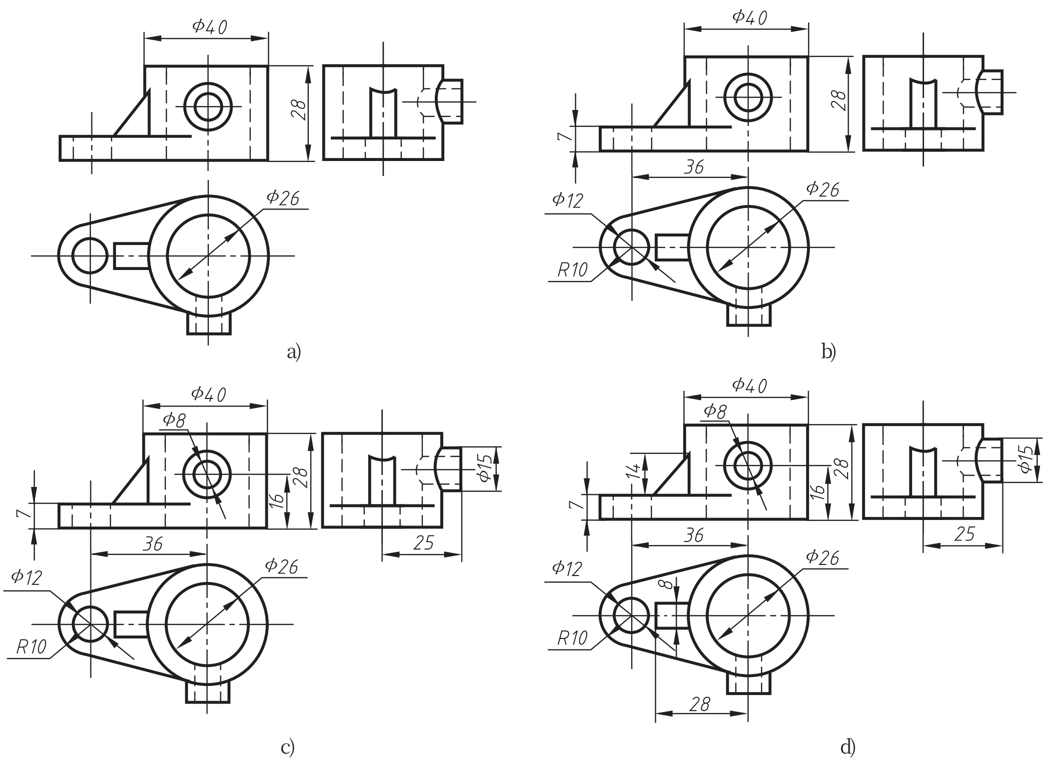


图6-26　组合体的尺寸标注

3）尺寸一般应标注在视图的外面，以免尺寸线、尺寸界线、尺寸数字与投影轮廓线交错重叠，影响清晰。但当某些结构的投影位于视图的里面，如将尺寸注到视图外面，则所注尺寸距离所注部位太远，尺寸界线引出过长，会穿过许多图线，造成不清晰；此时若视图里面有足够的位置标注尺寸，不甚影响清晰度时，就可以标注在视图里面，如图6-26d俯视图中肋板的宽度尺寸8。

4）在视图的同一侧有多个平行尺寸时，应小尺寸靠近视图，大尺寸依次向外配置，以免尺寸线与尺寸界线相交，如图6-26d中主视图上高度方向的尺寸16和28。

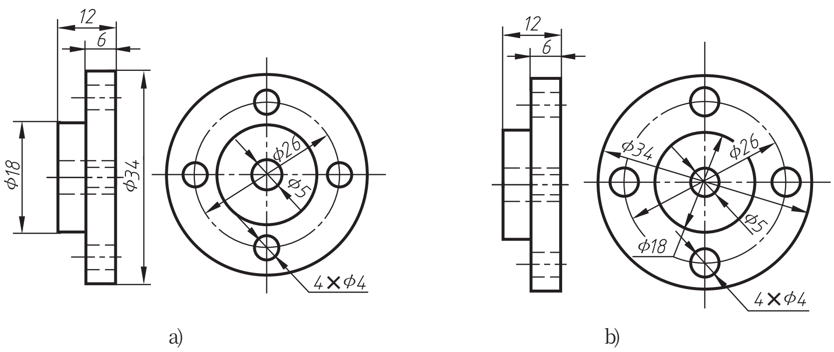


图 6-27　标注尺寸的比较

a）清晰　b）不清晰

5）应尽量避免在虚线上标注尺寸，如图 6-26d 中，尺寸 ϕ26 注在俯视图上，尺寸 ϕ8 注在主视图上。

上述注意事项有时会互相矛盾，此时应以清晰为原则进行标注。同时也还会遇到其他各种情况，同样以清晰为原则，灵活加以处理。

第六节　读组合体的视图

读组合体的视图，简称读图，又称看图、识图等。画图是将空间物体用一组平面图形（视图）表示出来，是由物画图的过程；而读图是画图的逆过程，是根据一组平面图形（视图）想象出空间物体的结构形状，是由图想物的过程。显然，画图和读图两者相辅相成、相互促进。因此，应多画图、多读图、读画结合、反复练习，才能真正熟练掌握画图和读图的技能。

一、读图的基本要领

以主视图为核心，几个视图联系起来读。在三视图（或一组视图）中，顾名思义，主视图是最主要的视图。通常主视图较多地反映物体的特征（形状特征和位置特征），它是反映物体信息量最多的视图。所以，读图时应以主视图为核心。然而一个主视图不可能反映物体的所有信息，即一个视图不可能完整表达物体的结构形状。因此，在读图时，又必须把表达物体所给出的几个视图联系起来读，才有可能完全读懂，从而正确想象出空间物体的结构形状。

二、读图的基本方法

读图的基本方法是形体分析法和面线分析法。

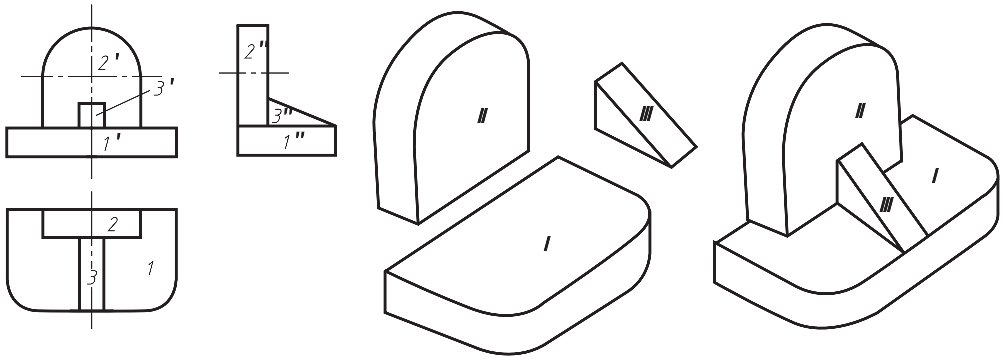
（一）形体分析法

把组合体视为由若干基本体所组成，即首先把主视图分解为若干封闭线框（若干组成部分），再根据投影关系，找到其他视图上的相应投影线框，得到若干线框组；然后读懂每个线框组所表示的形体形状；最后再根据投影关系，分析出各组成形体间的相对位置关系，综合想象出整个组合体的结构形状。对于由叠加方式形成的组合体，或既有叠加、又有切割，但被切割的形体特征比较清晰时，均适合用形体分析法读图。下面举例说明。

例 6-15　试根据图 6-28a 所示组合体的三视图，读懂它的结构形状。

（1）分析　从已知的三视图可以初步看出，这是一个左、右对称，且以叠加方式形成的组合体，所以适用形体分析法读图。

（2）分线框、对投影　一般从主视图着手，先将主视图分成 1′、2′和 3′三个封闭线框；可以认为组合体由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个基本体组成。再利用三角板、分规等工具，根据三视图之间的投影关系，找出



a) b) c)

图6-28 形体分析法读图（一）

a）分线框、对投影 b）想形体 c）想组合体

1′、2′、3′三个线框所对应的水平投影1、2、3和侧面投影1″、2″、3″，从而得到三个线框组1′、1、1″，2′、2、2″和3′、3、3″，见图6-28a。

（3）想基本体 根据各个线框组，分别想象出它们各自所表示的基本体的形状。由线框组1′、1、1″可知形体Ⅰ是在长方体的左前方和右前方带有圆角的一块底板；由线框组2′、2、2″可知形体Ⅱ是一块顶部为半圆柱的竖板；由线框组3′、3、3″可知形体Ⅲ为一块三棱柱的肋板，见图6-28b。

（4）想组合体 根据三视图所反映的各基本体之间的位置关系，想象出整个组合体的结构形状。

从主视图看，竖板和肋板均叠加于底板的上方，并且位于左右方向的正中间，即左右对称；结合俯、左视图可知，竖板位于底板的后面，且两者后表面平齐，肋板则同时叠加于竖板的前方，且其倾斜面与底板前表面的上方相接。由以上分析和阅读，综合起来可想象出组合体的结构形状，见图6-28c。

讨论：

在本例中，线框的划分和三视图中线框之间的对应关系都很清楚，并且各线框均为粗实线框。因此，通过对投影可以方便地得到线框组，从而确定各基本体的形状和整个组合体的结构形状。然而对于多数较为复杂的组合体，由于两形体表面平齐叠合，使两形体的分界线消失（参见图6-20d）；由于两形体相切不画切线的投影，使形体的投影构不成封闭线框（参见图6-21）；由于两形体相交（截交或相贯），使某些投影轮廓线消失，并形成新的交线——截交线或相贯线（参见图6-22），从而给线框的划分和寻找线框之间的对应关系带来困难，此时就需要假想地添加上这些相应的线条之后再来分析。同时，有的线框可能是带有虚线或完全由虚线围成的虚线框。下面举例来说明。

例6-16 已知组合体的三视图，见图6-29a。试想象出它的结构形状。

（1）分析 从三视图可以初步看出，这可能是一个左右对称的组合体，同时也是一个以叠加为主的组合体，且切割部分的形体特征也较明显，所以应采用形体分析法读图。

（2）分线框、对投影 从主视图入手，将它划分成1′、2′、3′、4′、5′五个线框及a'、b'两个线框；并根据投影关系，分别找出相应俯视图中的1、2、3、4、5、a、b以及在左视图中的1″、2″、3″、4″、5″、a''、b''各线框，即得到各个线框组。需要说明的是：在划分线框4、5和线框4″、（5″）时，需要假想添加切线的投影，对照图6-29a、e；在划分线框2时，也要假想添加轮廓线的投影，对照图6-29a、c。

（3）想基本体 根据各个线框组的三个投影，即可想象出各形体的形状。由线框组1′、1、1″，结合线框组a'、a、a''，可知形体Ⅰ是一块底板，中、下部开有通槽，前方左、右角为圆角，圆角中心处有两个小通孔，见图6-29b。由线框组2′、2、2″，结合线框组b'、b、b''，可知形体Ⅱ是一块竖板，上部是半圆柱，半圆柱轴线位置上有一通孔，竖板Ⅱ位于底板Ⅰ上面的正中后方，并且两者后表面平齐，见图6-29c。由线框组3′、3、3″可知，形体Ⅲ是一块三棱柱肋板，叠合在底板Ⅰ的上方，竖板Ⅱ的前

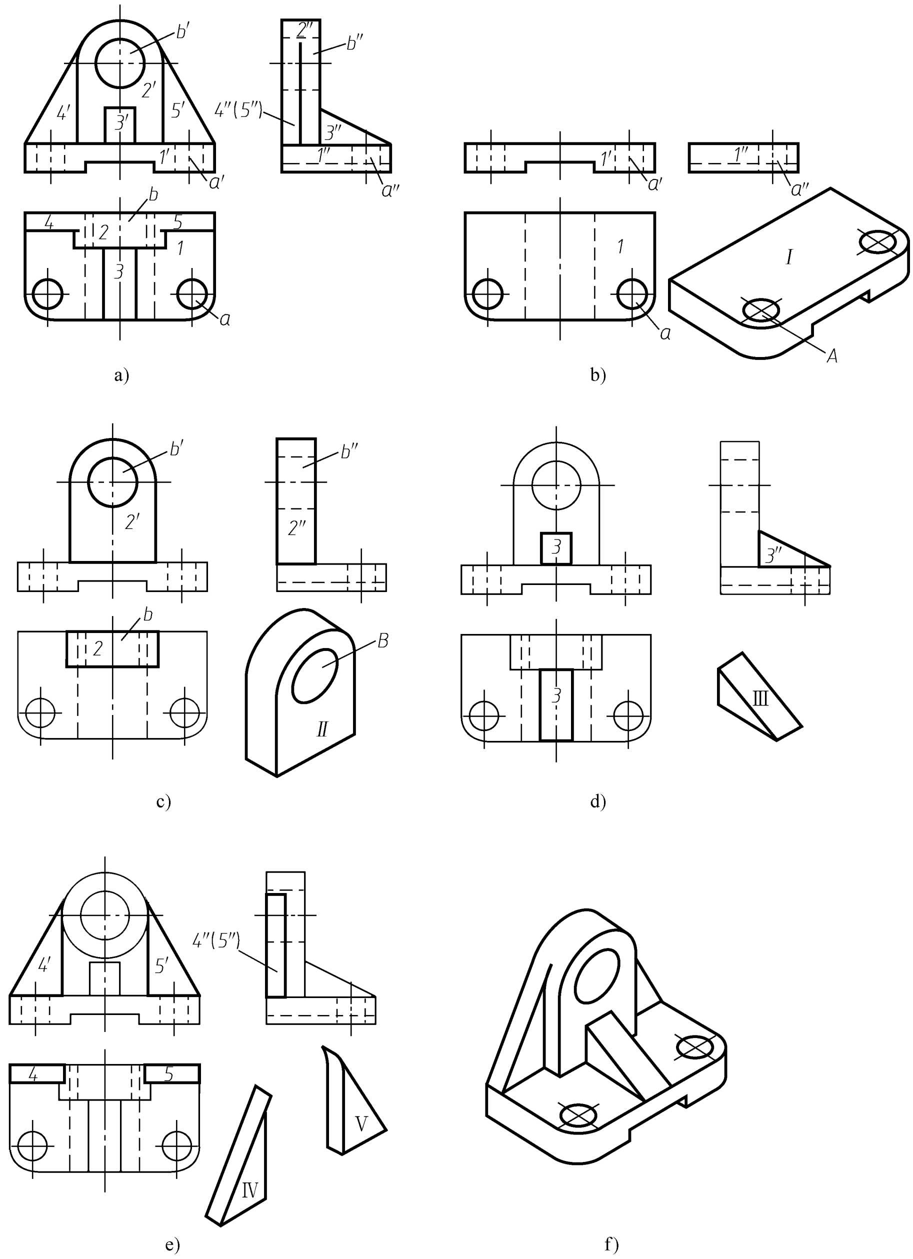


图 6-29　形体分析法读图（二）

a）分线框、对投影　b）读出底板Ⅰ　c）读出竖板Ⅱ　d）读出肋板Ⅲ

e）读出支撑板Ⅳ和Ⅴ　f）想象出组合体结构形状

方，且上表面与底板的前表面相接，见图 6-29d。由线框组 4′、4、4″和 5′、5、5″可知，形体Ⅳ和Ⅴ位于底板Ⅰ的上方，且对称地分布在竖板Ⅱ的两侧，与竖板Ⅱ相切叠加，其后表面与形体Ⅰ、Ⅱ的后表面平齐，其前表面在竖板Ⅱ的前表面之后，它们是两块支撑板，见图 6-29e。

（4）想组合体　通过以上读图，可归纳总结出整个组合体的结构形状，见图 6-29f。

在用形体分析法读图时，凡小线框位于大线框内时，则小线框表示的形体相对于大线框表示的形体，不是向外凸出就是向里凹入的。如主视图中小线框 3′和 *b*′位于大线框 2′内，结合俯、左视图，可知形体Ⅲ（三棱柱）突出在形体Ⅱ（竖板）的前方；而形体 *B* 是凹入的通孔。对于俯视图中大小线框之间的关系，也可作同样的分析，请读者自行分析。

（二）面线分析法

形体分析法是从“体”的角度出发，将组合体分析为由若干基本体所组成（将三视图分解为若干封闭线框组），以此为出发点进行读图。立体都由面围成，而面又由线段所围成，因此还可以从“面和线”的角度将组合体分析为由面和线组成，将三视图分解为若干线框组和线段组，并由此想象出组合体表面面、线的形状和相对位置，进而确定组合体的整体结构形状，这种读图方法称为面线分析法。

在形体分析法中，只分析线框组，且表示的是一个“体”的三个投影。在面线分析法中，也分析三个线框组成的线框组，但表示的是一个一般位置平面；同时还分析两线框、一线条组成的线框组，表示的是投影面垂直面；还分析一线框、两线条组成的线框组，表示的是投影面平行面；还分析三线条组成的线段组：三线条均为斜线时表示的是一般位置直线；只有一条是斜线时，表示的是投影面平行线；还有两条线和一个点时，表示的是投影面垂直线。此外，在形体分析法中，表示“体”的三个线框之间无类似性关系；而在面线分析法中，表示“面”的三个线框或两个线框（还有一条线）之间一定具有类似性的关系。以上是两种读图方法的显著差别。下面举例说明用面线分析法读图的具体方法和步骤。

例 6-17　试根据图 6-30a 所示组合体的三视图，确定该组合体的结构形状。

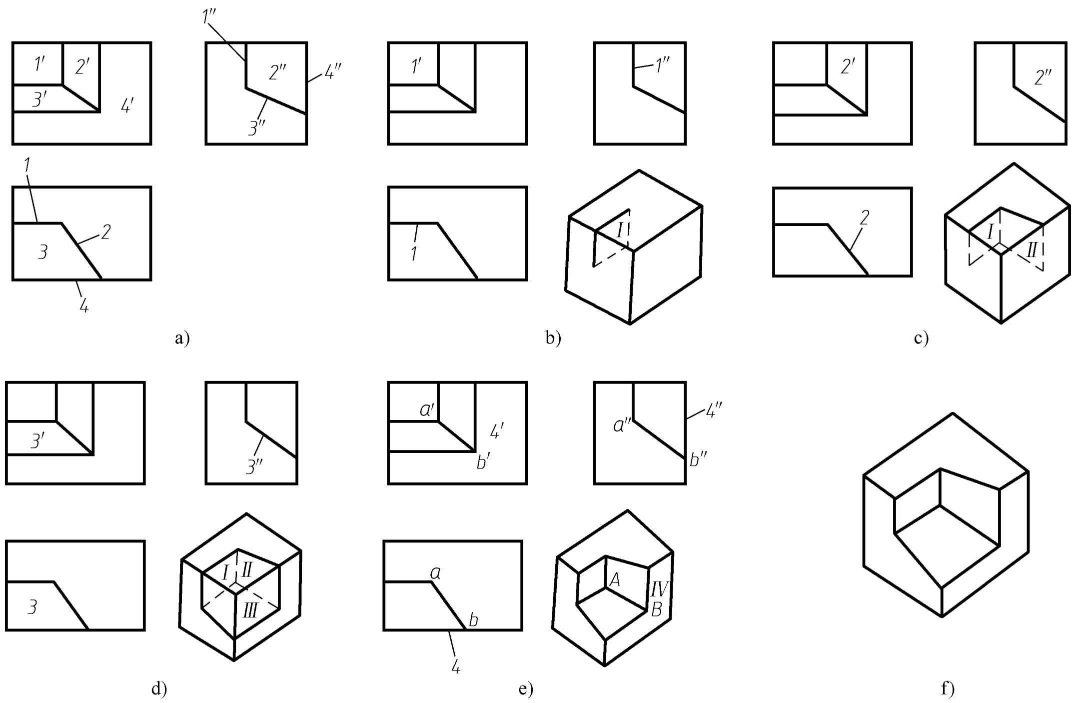


图 6-30　面线分析法读图（一）

a）分线框、对投影　b）定面形Ⅰ　c）定面形Ⅱ　d）定面形Ⅲ

e）定面形Ⅳ和直线 AB　f）想组合体结构形状

（1）分析　由于三视图中所有图线均为直线，所以该组合体是一个平面立体；又由于三个视图的外框均为矩形，可知该组合体是由一个长方体经过切割而成的。

（2）分线框、对投影　先将主视图分成 1′、2′、3′、4′四个线框；对投影可得相应的水平投影 1、2、3、4 和侧面投影 1″、2″、3″、4″，见图 6-30a。在这里，各同名投影之间要么是类似形，要么有积聚性。

（3）按投影想面（线）形　由线框组 1′、1、1″可知平面Ⅰ为正平面，它的正面投影反映实形，见图 6-30b。

由线框组 2′、2、2″可知平面Ⅱ是一个铅垂面，并与平面Ⅰ相交，见图 6-30c。

由线框组 3′、3、3″可知平面Ⅲ是一个侧垂面，并与平面Ⅰ、Ⅱ都相交，见图 6-30d。

由此可见，平面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ彼此相交，把长方体的左前上方切去了一块。

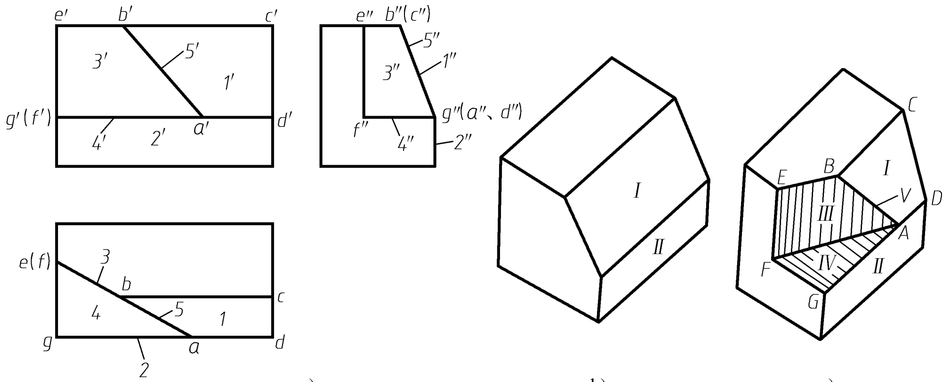
由线框组4′、4、4″可知平面Ⅳ是一个正平面，它的正面投影反映实形，它是长方体经上述切割后留下的前表面，见图6-30e。

再分析线段组 $a'b'$、ab 和 $a''b''$（见图6-30e），这三个同名投影均倾斜于投影轴，表明空间直线 AB 为一般位置直线。这正是铅垂面Ⅱ和侧垂面Ⅲ的交线的特征。

（4）想组合体　综上所述，可想象出整个组合体的结构形状，见图6-30f。

本例题中，主视图上线框的划分以及在俯、左视图上对应的投影关系都很清楚，很容易得到线框组。而在多数情况下，主视图上除需要分析线框外，还需分析其中的线段，并且对应的投影关系也难以看出，必须经过正确的分析判断，去伪存真，才能最终确定。下面举例说明。

例6-18　已知组合体的三视图，见图6-31a，试想象出组合体的结构形状。



a)　b)　c)

图6-31　面线分析法读图（二）

（1）分析　已知三视图中均为直线段，所以组合体为平面立体；且主、俯视图的边框均为矩形，左视图的边框接近为矩形，只在前上方少了一部分，可见该组合体是由长方体经切割而成的。

（2）分线框、对投影、想面（线）形　将主视图分成1′、2′、3′三个线框以及4′、5′两条线段；由1′对投影，粗略看在俯视图上可能是线框 $abcd$ 或线段 bc；在左视图上可能是斜线（a''）b''、垂直线 $e''f''$ 或线框（a''）$b''e''f''$，这样就有六种可能性。当然其中只有一种是正确的，只要深入分析就能确定是哪一种。首先在俯视图上，与1′对应的投影如果是线段 bc，则平面Ⅰ为正平面，在左视图上的对应投影应为平行于 z 轴的直线段，是否就是 $e''f''$ 呢？由于 bc 和 $e''f''$ 的位置不符合宽相等的关系，所以结论是否定的，这就是说在左视图上找不到这个正平面的投影，由此可见与1′对应的水平投影只能是线框 $abcd$（即1），于是由1′和1对投影，满足高平齐、宽相等的只有线段（a''）b''（即1″），而线框（a''）$b''e''f''$ 和线段 $e''f''$ 均被排除。由此可见，平面Ⅰ是一个侧垂面，长方体就是被这个侧垂面在前上方切去了一个三棱柱，见图6-31b。

再由线框2′对投影，可分别得到唯一的水平投影线段2和侧面投影线段2″，可见平面Ⅱ是一个正平面，是长方体经切割后留下的前表面，见图6-31b。

再由线框3′对投影，粗略看也有六种可能性：水平投影可能是线框 $a(f)g$ 或线段 $a(f)$，由于线框 $a(f)g$ 为三边形，而线框3′为四边形，两者不是类似形，所以3′对应的水平投影只能是线段 $a(f)$（即3），由3′和3可知平面Ⅲ是一个铅垂面，故侧面投影只能是类似形的线框（a''）$b''e''f''$（即3″），可见长方体的左前上方又被一个铅垂面Ⅲ截切。

再分析线段4′，水平投影只能是线框 $a(f)g$（即4），因为上面已确定线段 $a(f)$ 为3，可见平面Ⅳ是一个水平面，侧面投影就是水平线段 $f''g''$（即4″）。可见水平面Ⅳ与铅垂面Ⅲ共同截切的结果，是将长方体的左前上方切去一角，见图6-31c。

再分析线段5′（$a'b'$），它可能是正垂面的投影或一直线的投影。如果是正垂面的投影，则高平齐的侧面投影和长对正的水平投影应为具有类似性的两个线框，而事实上找不出这样的线框，可见它是一直

线的投影。对投影可得水平投影 ab 和侧面投影（a''）b''，可见 AB 是一条一般位置直线。不难分析，它是侧垂面Ⅰ和铅垂面Ⅲ的交线，见图 6-31c。

（3）想组合体　至此，可以想象出整个组合体的结构形状，如图 6-31c 所示。

通过对以上两种读图方法的分别举例，可以作出如下小结：

1）形体分析法是从“体”的角度出发，“分线框、对投影”，所得的线框组都是线框，一般无类似性关系，表示一个形体的三个投影；“想形体”，也是想形体的形状。而面线分析法是从“面和线”的角度出发，“分线框、对投影”，所得线框组要么是具有类似性的线框，要么积聚成线段（没有类似性，必有积聚性），表示一个表面的三个投影；“想面（线）形”也是想面、线的形状。“想组合体”，两种方法都能根据三视图所反映的位置关系，分别确定各组成形体或面、线的相对位置，从而想象出物体的结构形状。

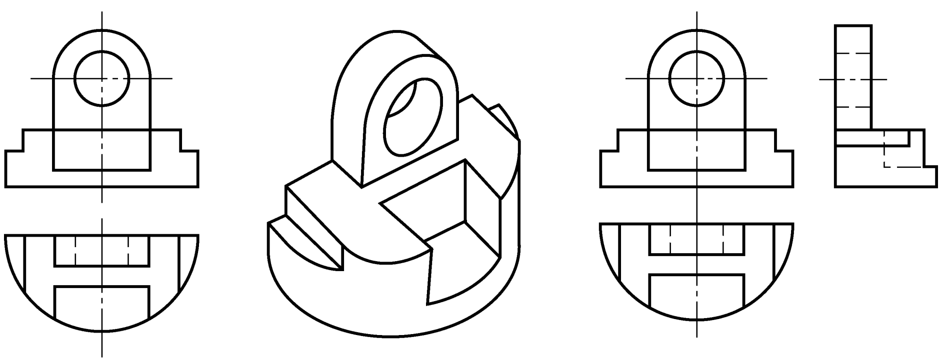
2）形体分析法适用于以叠加方式形成的组合体，或者既有叠加，又有切割，且切割部分的形体比较明显时，如穿孔等也可用此法。而面线分析法适用于被切割的物体，且切割部分的形体特征不明显，并形成了一些切割面与切割面的交线，难以用形体分析法读图时。

3）组合体的形成往往是既有叠加、又有切割的综合方式，所以读图时，也往往是在形体分析法的基础上辅以面线分析法，即综合应用上述两种方法使之相互配合、互为补充。

对于有些物体，只要有反映形状特征和位置特征的两个视图，就能唯一确定物体的结构形状。因此，作为读图的一种训练方法，常常采用给出两个视图（已唯一确定物体的结构形状时），补画第三视图，通常称为“二补三”，或者给出缺少部分投影线的不完整的三个视图，要求补画出缺漏的图线，称为“补漏线”。显然，这必须是在完全读懂已知视图的基础上才能完成，并且它把读图和画图紧密结合在一起（读画结合），这是培养和提高读图和画图能力的有效方法。

下面举一个综合运用两种方法读图并结合“二补三”练习的例子。

例 6-19　已知组合体的主、俯两个视图，见图 6-32a，试补画其左视图。



a)　　b)　　c)

图 6-32　综合读图（一）

a）已知的主、俯视图　b）想象出物体结构形状　c）补画左视图

读图：从已知的主、俯视图可以看出，该组合体为一个左右对称的物体。进一步从主、俯视图对应的投影关系看，组合体由上、下两部分形体叠加而成。上部为带半圆端的竖板，下部为半圆柱体形状的底板。同时上、下两部分形体又进行了切割：从主视图上部竖板投影部分的小圆和对应俯视图上的两条虚线可知，在竖板半圆端中心处穿了一个小孔。从主视图下部底板投影的左上方和右上方各缺去一角和对应俯视图上的投影可知，在半圆柱体底板的左上方和右上方分别用一个水平面和一个侧平面各切去一块。再从底板部分主、俯两个投影中间的两个对应线框可以看出，在底板的前上方正中位置上用两个侧平面、一个正平面和一个水平面切去一块形体，形成切口。

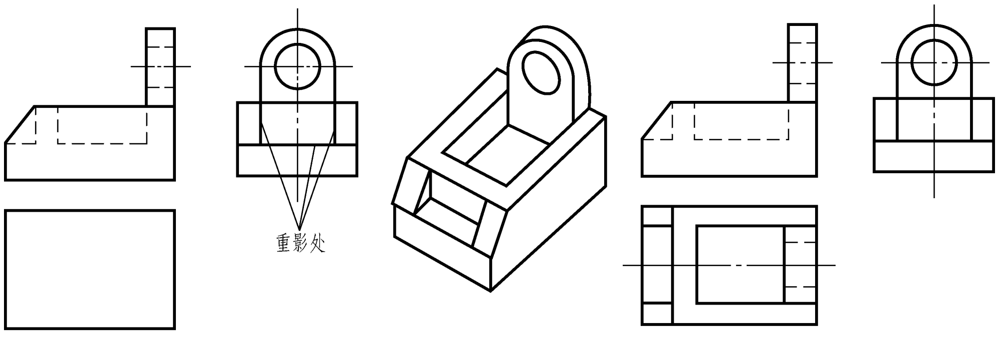
至此可想象出组合体的结构形状，见图 6-32b。

根据想象出的物体的结构形状，并由左视图应与主视图高平齐，与俯视图宽相等的投影关系，即可

补画出物体的左视图，见图6-32c。

在读组合体视图（及以后读零件图）时，往往会遇到投影重影的问题。由于投影重影时只画可见轮廓线——粗实线，而不能画出重影的不可见轮廓线——虚线，因此读图时必须分析出重影的虚线，才能读懂视图，想象出组合体的结构形状。下面举一例说明。

例6-20　已知组合体的主、左视图，见图6-33a，试补画它的俯视图。



a)　　b)　　c)

图6-33　综合读图（二）

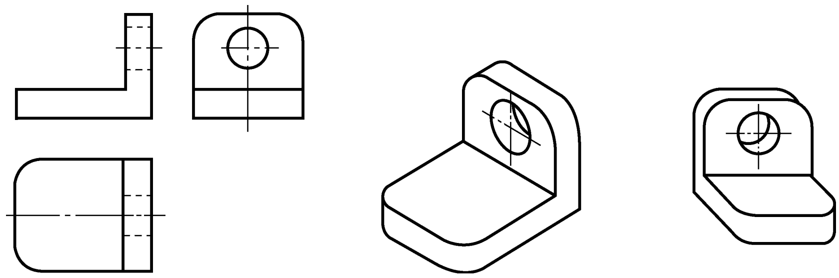
a）已知主、左视图　b）想象出组合体形状　c）补画俯视图

读图：从已知的主、左视图可以看出，该组合体是一个前后对称的物体，且由位于右侧的半圆端竖板和箱体两部分叠加而成。箱体的左侧前后位置上各有一块三棱柱形肋板。箱体在主视图上的虚线投影说明它是一个有底无顶的中空箱体，并可看出箱体内腔的左、右壁和底壁位置，但前后壁位置则无法反映。而在左视图上底壁位置和前后壁位置均无明确的投影线，故只能是与其他图线重影。经仔细分析可知，该三处投影均为虚线，且与可见的轮廓线重影，见图6-33a中标明的重影处，于是便可想象出组合体的结构形状，见图6-33b。并可补画出它的俯视图，见图6-33c。

对于初学者来说，掌握上述读图的要领和方法是至关重要的。然而读图和“游泳”一样，光领会要领、方法是远远不够的，还必须“下水”实践，即必须多读图、多想象，反复练习，持之以恒，才能熟能生巧，不断提高读图能力，真正掌握读图的本领。

第七章　轴测投影图

多面正投影图具有度量性好、作图简便等优点，因此是工程上最常用的图样，见图7-1a。但多面正投影图缺乏立体感，必须运用正投影原理，对照几个投影，即几个视图联系起来读，才能想象出物体的结构形状。轴测投影图简称轴测图（GB/T 4458.3—1984），是用平行投影原理形成的单面投影图，见图 7-1b、c。尽管物体上的表面形状发生了变形，作图比较困难，但它能同时反映物体长、宽、高三个方向的尺度，图形形象生动，富有立体感，因此是工程上常用的辅助图样。



a)　　b)　　c)

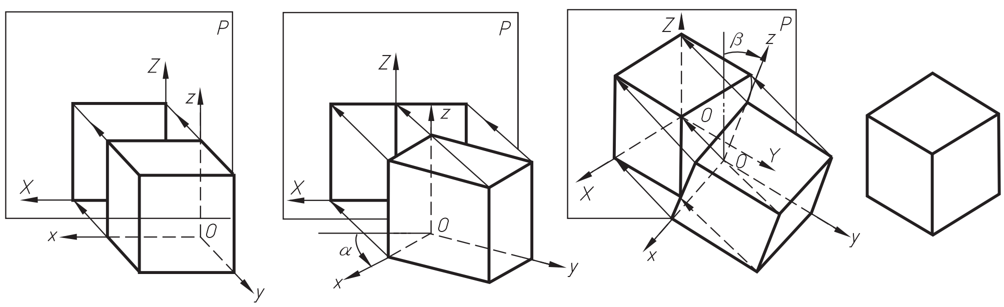
图 7-1　多面正投影图（三视图）和轴测图

a）多面正投影图（三视图）　b）正等轴测图　c）斜二轴测图

第一节　轴测图的基本概念

一、轴测图的形成

图 7-2a 是一正方体放正后的正投影，它的前（后）表面平行于投影面 P，其投影反映实形；而上、下、左、右四个棱面均垂直于投影面 P，其投影均积聚成直线，故不能反映这些表面宽度方向的尺度和表面形状。因此，整个投影图没有立体感。图 7-2b 是将正方体绕参考直角坐标系 $Oxyz$ 中的 Oz 轴旋转一个角度 α，此时左、右两个面不再有积聚性，即投影图可同时反映四个侧棱面的形状（虽都不是实形）；然而上、下两个面的投影仍积聚成直线，故投影图还是缺乏立体感。图 7-2c 中，再将正方体绕坐标原点 O 向正前方旋转一个角度 β，则其投影图就能同时反映出正方体所有 6 个棱面（其中 3 个棱面的投影为虚线）的形状，从而有了立体感。省略虚线后，最终得到的轴测图见图 7-2d。



a)　　b)　　c)　　d)

图 7-2　轴测图的形成——正轴测图

如图 7-3 所示，物体与投影面的相对位置同图 7-2a 不变，但是改变投射方向，使投射方向倾斜于投影面，即采用斜投影的方法也能得到反映物体三个方向形状的具有立体感的投影图形。

用以上两种方法获得的具有立体感的单面投影图称为轴测投影图，简称轴测图。相应的投影面称为轴测投影面。

二、轴向伸缩系数与轴间角

上述将物体连同其参考直角坐标系一起沿投射方向投射到轴测投影面上时，其坐标轴的长度以及两轴之间的夹角均会发生变化。如图 7-4 所示（参见图 7-2、图 7-3），物体上的参考直角坐标轴 Ox、Oy、Oz 在轴测投影面 P 上的投影 OX、OY、OZ 称为轴测投影轴，简称轴测轴。设在 Ox、Oy、Oz 轴上各取一个单位长度 u，在 OX、OY、OZ 轴上的投影长度分别为 i、j、k，则 i、j、k 与 u 之比称为轴向伸缩系数，并分别用 p_1、q_1、r_1 表示，即 $p_1=i/u$，$q_1=j/u$，$r_1=k/u$。而轴测图中，两根轴测轴之间的夹角 $\angle XOZ$、$\angle XOY$ 和 $\angle YOZ$ 称为轴间角。

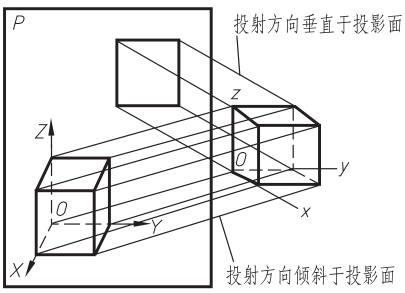


图 7-3　轴测图的形成——斜轴测图

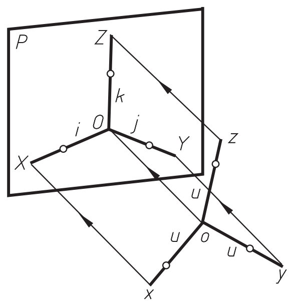


图 7-4　轴向伸缩系数和轴间角

三、轴测图的分类

按投影方法的不同，可将轴测图分为两类：

1）正轴测图——用正投影法得到的轴测图（物体斜放），见图 7-2d。

2）斜轴测图——用斜投影法得到的轴测图（物体正放），见图 7-3。

在正轴测图（见图 7-2）中，若物体两次旋转的角度 α 和 β 分别取不同的值或在斜轴测图（见图 7-3）中，改变投射方向，都将引起三个轴向伸缩系数的变化（三个轴间角和轴测图的形状相应变化）。因此，按轴向伸缩系数的不同，可将轴测图分为三类：

1）等轴测图——三个轴向伸缩系数均相等的轴测图，即 $p_1=q_1=r_1$。

2）二等轴测图——两个轴向伸缩系数相等的轴测图，即 $p_1=q_1\neq r_1$（或 $p_1=r_1\neq q_1$ 或 $q_1=r_1\neq p_1$）。

3）三测轴测图——三个轴向伸缩系数均不相等的轴测图，即 $p_1\neq q_1$，$q_1\neq r_1$，$p_1\neq r_1$。

综合以上两种分类方法，可以得到以下六种轴测图：正等轴测图、正二（等）轴测图、正三轴测图、斜等轴测图、斜二（等）轴测图、斜三轴测图。本书仅介绍最常用的正等轴测图和斜二（等）轴测图。

第二节　正等轴测图

为了获得具有立体感的正等轴测图，同时又要画图方便，在图 7-2 中，取 $\alpha=45°$，而旋转角 β 的大小，以三根参考直角坐标轴 Ox、Oy、Oz 与轴测投影面构成相同的角度 β 为准。不难证明，此时 $\beta\approx 35°16'$，因此投影后得到的三个轴测轴之间的夹角也一定相等，由此得到的轴测图就是正等轴测图。可见正等轴测图具有如下两个特点（见图 7-5）：

1）三个轴向伸缩系数相同，即 $p_1 = q_1 = r_1 = 1 \times \cos35°16' : 1 \approx 0.82$。

2）三个轴间角相等，即 $\angle XOY = \angle YOZ = \angle XOZ = 120°$。

在实际工程中，为了进一步方便作图，通常采用简化系数 $p = q = r = 1$ 取代之。也就是在三个轴测轴方向上的尺寸均按实际长度量取，这样作出的轴测图其轴向尺寸皆放大了，其放大率 $k = 1/0.82 \approx 1.22$，即每个轴向尺寸放大了约 1.22 倍，而轴测图的形状和直观性没有变化，却大大简化了作图。综上所述可知，画轴测图时，只能沿着轴测轴或平行于轴测轴的方向测量尺寸，轴测图的名称即由此而得。

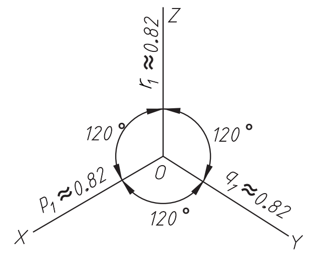


图 7-5 正等轴测图的特点

一、平面立体的正等轴测图

画轴测图的基本方法是坐标法。所谓坐标法，就是根据立体表面上每个顶点的坐标，画出它们的轴测投影，然后连接成立体表面的棱线，从而获得立体的轴测投影的方法。它既适用于平面立体，也适用于曲面立体，且同时适用于正等轴测图、斜二（等）轴测图和其他各种轴测图。

以下举例说明平面立体正等轴测图的画法。

例 7-1 已知：正六棱柱的主、俯视图和尺寸 a、b、h，见图 7-6。

求作：其正等轴测图。

分析：正六棱柱的前后、左右均对称，顶面与底面均为正六边形。作图时可用坐标法先作出正六棱柱上顶面的正六边形的六个顶点，再在 OZ 方向上将各顶点向下移动距离 h，得到正六棱柱下底面的各顶点，最后将对应顶点连接成棱线和棱面，即得到正六棱柱的轴测图。

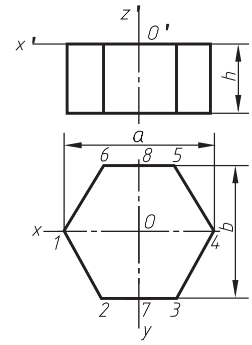


图 7-6 正六棱柱的主、俯视图

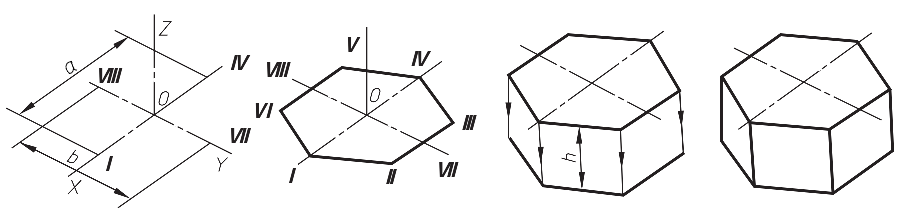
作图：1）在两视图上确定参考直角坐标系（以下简称坐标系），坐标原点 O 取为顶面的中心，并在俯视图上将各顶点依次编号为 1、2、3、4、5、6，并将线段 23 和 56 的中点编号为 7 和 8，见图 7-6。

2）确定点 O，画出轴测轴 X、Y、Z，并以点 O 为起点，在 X 轴上向两边各量取距离 $a/2$ 得Ⅰ、Ⅳ两点；在 Y 轴上向两边各量取距离 $b/2$ 得Ⅶ、Ⅷ两点，见图 7-7a。

3）过Ⅶ、Ⅷ两点作 X 轴的平行线，并量取ⅦⅡ =72，ⅦⅢ =73，可得Ⅱ、Ⅲ两点；同理可得Ⅴ、Ⅵ两点。再依次连接Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅰ，即可得正六棱柱上顶面的轴测投影，见图 7-7b。

4）过六边形的各顶点分别沿 Z 坐标方向向下画出可见的棱线，并取各棱线的高度为 h，可得下底面上各点，并依次连接，见图 7-7c。

5）擦去多余的作图线，并用粗实线画出正六棱柱的可见棱线（必要时，才用虚线画出其不可见的棱线），即完成正六棱柱的正等轴测图，见图 7-7d。



a) b) c) d)

图 7-7 正六棱柱正等轴测图的画法

例 7-2 已知：图 7-8 所示的平面立体的三视图。

求作：它的正等轴测图。

分析：读三视图可知，该平面立体由两个长方体叠加而成；同时在上部长方体的前上方切去了一个

三棱柱，形成切角；又在平面立体的前方正中间位置开有一上、下方向的通槽。作图时可以先画出两个叠加的长方体，再画切角，最后画出通槽。

作图：1）在三视图上建立坐标系 $Oxyz$，见图 7-8。

2）画出轴测轴，并根据两个长方体的坐标尺寸 x_1、y_1、z_1 和 x_2、y_2、z_2 分别定出它们的各个顶点并连线，即画出了两个叠加的长方体，见图 7-9a。

3）根据前上方切角的坐标尺寸 x_3、y_3、z_3 定出切角后的各顶点并连线，即画出了切角，见图 7-9b。

4）根据通槽的坐标尺寸 x_4、y_4、z_4（图 7-8 中 z_4 取为相对坐标），定出开槽后的各顶点并连线，即画出了通槽，见图 7-9c。

5）整理、加深，完成轴测图，见图 7-9d。

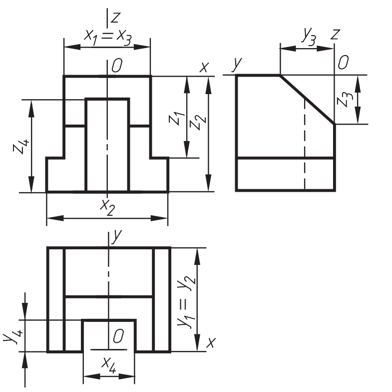


图 7-8　组合平面立体的三视图

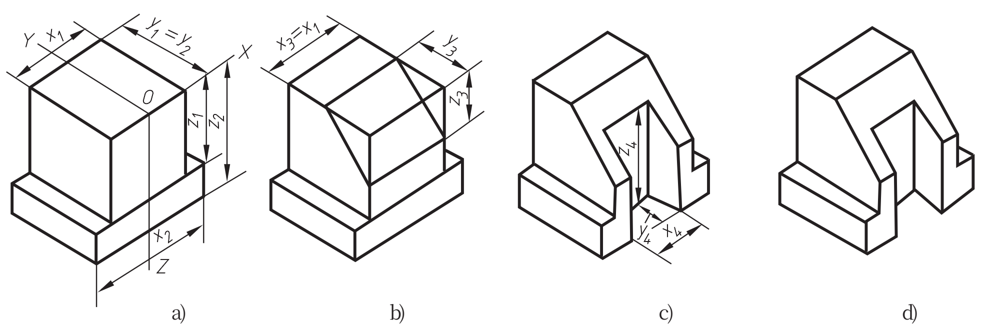


图 7-9　平面立体正等轴测图的画法

a）画出两长方体　b）画出切角　c）画出通槽　d）整理、加深，完成全图

二、回转体的正等轴测图

作回转体的正等轴测图，关键在于画出立体表面上圆的轴测投影——椭圆。该椭圆虽然同样可以使用坐标法来绘制，即用坐标定出椭圆上一系列的点，再光滑连接成椭圆。但工程上一般采用较为简便的菱形法，即用四段圆弧来近似代替椭圆。由于不论圆所在的平面平行于哪个投影面，其投影椭圆的画法均相同，所以这里仅以水平面上的圆为例，说明其投影椭圆的画法，见图 7-10。

1）作圆的外切正方形，设切点为 1、2、3、4 四点，并确定坐标轴 Ox、Oy，见图 7-10a。

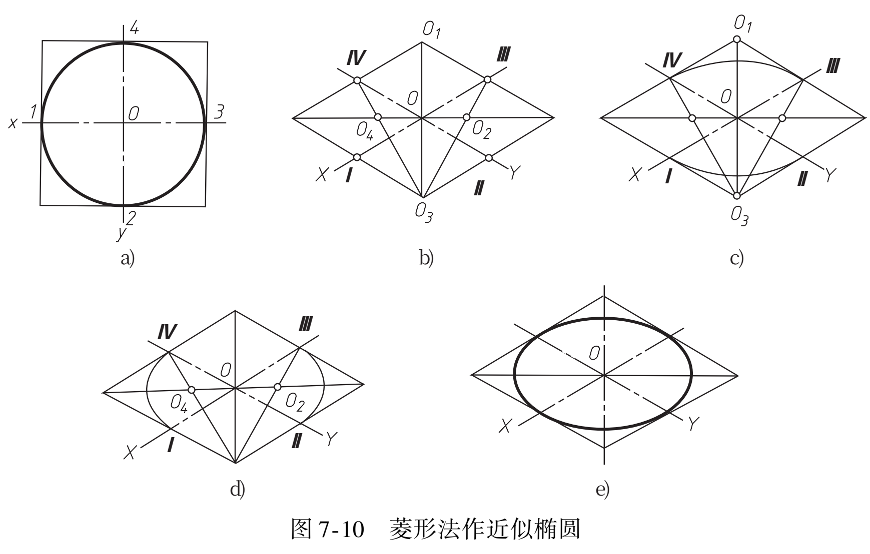


图 7-10　菱形法作近似椭圆

2）画出轴测轴 OX、OY，确定1、2、3、4四点的轴测投影Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ，并作出圆的外切正方形的轴测投影——菱形，设菱形短对角线顶点分别为 O_1 和 O_3；再连接 O_3Ⅲ和 O_3Ⅳ（或 O_1Ⅰ和 O_1Ⅱ），分别交菱形长对角线于 O_2 和 O_4，见图7-10b。

3）分别以 O_1 和 O_3 为圆心，O_3Ⅲ为半径画圆弧 $\overset{\frown}{\mathrm{I\,II}}$ 和 $\overset{\frown}{\mathrm{III\,IV}}$，见图7-10c。

4）分别以 O_2 和 O_4 为圆心，O_2Ⅲ为半径画圆弧 $\overset{\frown}{\mathrm{II\,III}}$ 和 $\overset{\frown}{\mathrm{I\,IV}}$，见图7-10d。

5）加深上述四段圆弧，即得水平面上圆的正等轴测投影的近似椭圆，见图7-10e。

同理可作出正平面和侧平面上圆的正等轴测图的椭圆，参见图7-13。

例7-3　已知：圆柱的主、俯视图和尺寸 ϕ、h，见图7-11。

求作：它的正等轴测图。

分析：圆柱的顶面与底面均为水平面上的圆，其轴测投影均为椭圆，且长轴应垂直于轴测轴 OZ。先作出上、下两个椭圆，再作出其外公切线，即可求得该圆柱的正等轴测图。

作图：1）在圆柱的视图上确定坐标系，见图7-11。

2）用菱形法作出圆柱顶面的椭圆。显然圆柱底面的椭圆形状与之完全相同，仅位置不同，故可用移心法作出底面的椭圆，即将作顶面椭圆时的每个圆心沿 Z 方向向下移动 h 高度，并采用对应相同的半径画圆弧，便可得底面的椭圆。再作上、下两椭圆的外公切线，便可得圆柱的正等轴测图（下底面椭圆的不可见轮廓的虚线可省略不予画出），见图7-12a。

3）整理、加深，完成全图，见图7-12b。

三种常见位置圆柱（轴线分别垂直于水平面、正平面和侧平面）的正等轴测图见图7-13。它们的不同之处是外切菱形的方向不同，即椭圆的长、短轴方向不同，其椭圆的长轴分别垂直于 OZ 轴、OY 轴和 OX 轴，而作图方法是相同的。

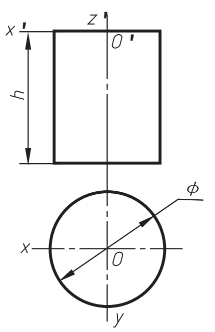
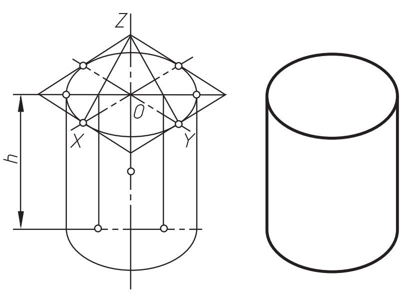


图7-11　圆柱的视图和尺寸



a)　　b)

图7-12　圆柱的正等轴测图画法

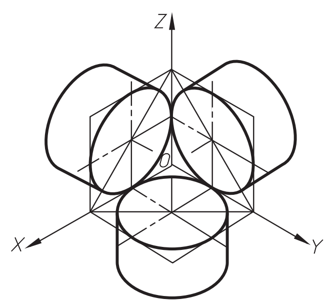


图7-13　三种常见位置的圆柱体的正等轴测图

例7-4　已知：圆台的主、左视图和尺寸 ϕ_1、ϕ_2、h，见图7-14a。

求作：它的正等轴测图。

分析：图中圆台的轴线为侧垂线，左、右圆端面均为侧平面，其轴测投影——椭圆的长轴必定垂直于轴测轴 OX，先按尺寸 ϕ_1、ϕ_2、h 分别画出两端面的椭圆（由于两端面椭圆的大小不同，所以此处不能采用移心法），再作出其外公切线，即可得到圆台的正等轴测图。

作图：1）在视图上确定坐标系，见图7-14a。

2）画出轴测轴 OX、OY、OZ，用菱形法分别作出左、右两端面圆的轴测投影——椭圆，并画出大、小椭圆的外公切线，即得到圆台的正等轴测图，见图7-14b。

3）整理、加深，完成全图，见图7-14c。

例7-5　已知：图7-15a所示为一块长、宽、高分别为 a、b、h 的底板，其四周均为圆角，半径为 R。

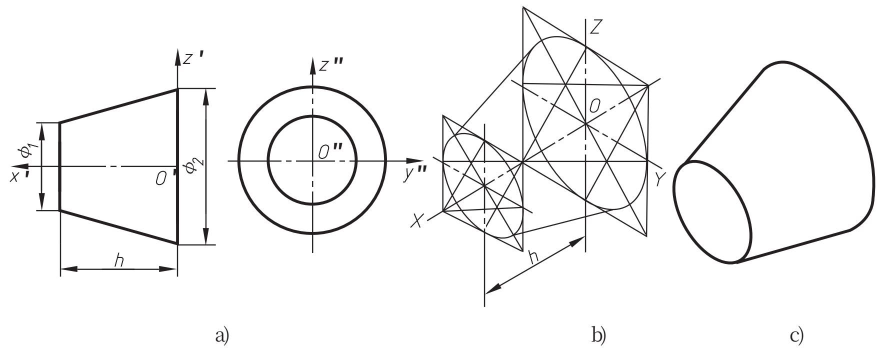


图 7-14　圆台正等轴测图的画法

求作：该底板的正等轴测图。

分析：底板上表面四角处的四段圆弧拼合起来是一个圆，而底板的四个圆角拼合起来就是一个圆柱体。从上面采用菱形法画圆柱体上顶面圆的正等轴测图——椭圆可知，图 7-15a、b 中的四段圆弧$\overset{\frown}{12}$、$\overset{\frown}{23}$、$\overset{\frown}{34}$、$\overset{\frown}{41}$分别与图 7-15c 中的四段圆弧$\overset{\frown}{\text{ⅠⅡ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅡⅢ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅢⅣ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅣⅠ}}$一一对应。即轴测图中仍然为圆弧，只是半径不同了。因此在画出长方体底板后，只要找出四段圆弧$\overset{\frown}{\text{ⅠⅡ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅡⅢ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅢⅣ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅣⅠ}}$各自的圆心和半径即可画出它们；再用移心法作出底板下底面上的各段圆弧；最后作出相应圆弧的公切线，即得到四角为圆角的底板的正等轴测图。

作图：1）画出完整长方体底板的正等轴测图，见图 7-15d。

2）画出 4 个圆角。①以长方体上表面上的 4 个顶点为起点，分别向两边截取长度 R（圆角半径），得到Ⅰ、Ⅱ，Ⅱ、Ⅲ，Ⅲ、Ⅳ，Ⅳ、Ⅰ各点；②再分别过这些点作相应边的垂线，可得到交点 O_1、O_2、O_3 和 O_4；③分别以交点 O_1、O_2、O_3、O_4 为圆心，以交点到对应边的距离为半径，画出四段圆弧$\overset{\frown}{\text{ⅠⅡ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅡⅢ}}$、$\overset{\frown}{\text{ⅢⅣ}}$和$\overset{\frown}{\text{ⅣⅠ}}$；④用移心法作出底板下底面上的四段圆弧，并作出上下对应圆弧的公切线，便得到底板四周的圆角，见图 7-15e。

3）检查、整理，加深图线，完成全图，见图 7-15f。

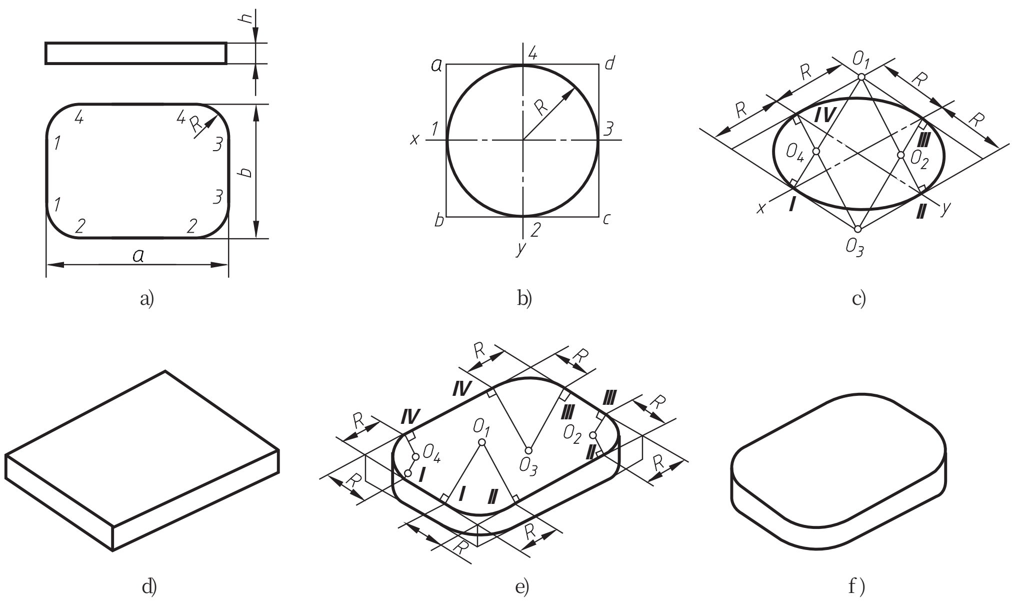


图 7-15　带圆角底板正等轴测图的画法

例 7-6　已知：直角支架的三视图，见图 7-16a。

求作：它的正等轴测图。

分析：从三视图中可以看出，直角支架由两块垂直相交的板组成，两块板的连接处以圆角 R_3（1/4圆）过渡，且两块板本身各有两个圆角 R_1 和 R_2，以上各圆角均可应用图 7-15 所示方法求得其轴测投影图。在垂直板上，又有一腰形通孔，孔的两端是半圆，作图时可将半圆看成是两个圆角，以便于作图。

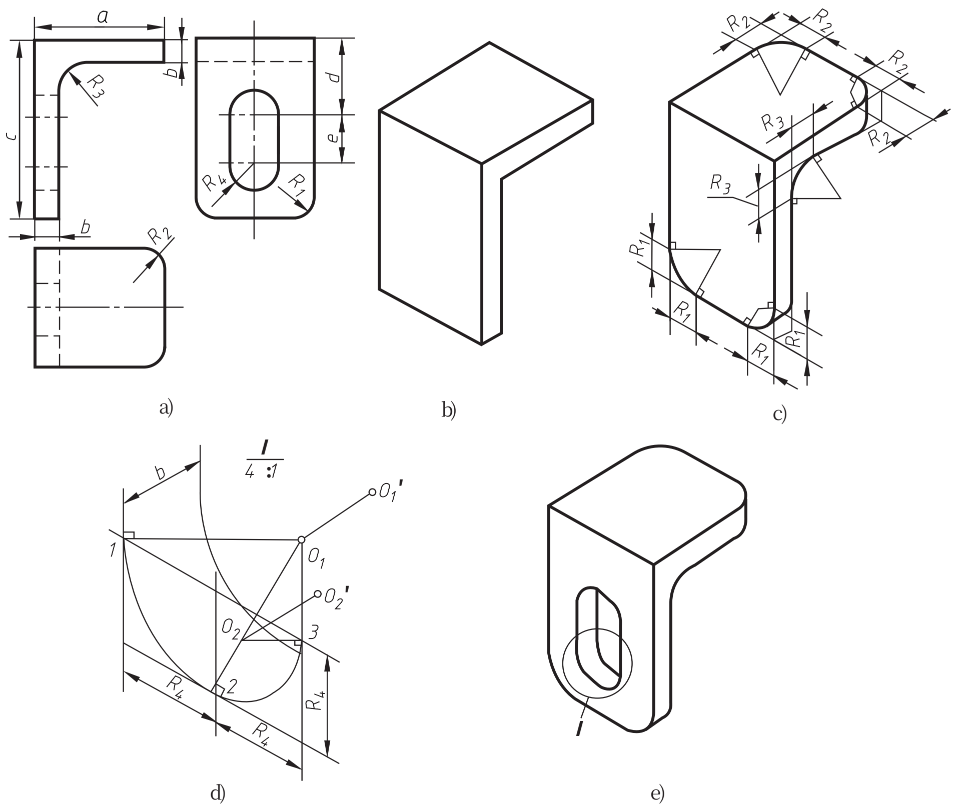


图 7-16　带圆角的直角支架正等轴测图的画法

作图：1）由尺寸 a、b、c 可画出不带圆角和腰形通孔的直角支架的轴测图，见图 7-16b。

2）由尺寸 R_1、R_2、R_3，用例 7-5 的方法，可作出直角支架各处的圆角，见图 7-16c。

3）由尺寸 d、e、R_4 可作出腰形孔。将腰形孔下部的半圆孔视为两个（内）圆角，分别作出。即由 1、2、3 三点分别作对应边的垂线，得交点 O_1 和 O_2，并分别以 O_1、O_2 为圆心，$O_1 1$ 和 $O_2 2$ 为半径画出圆弧$\widehat{12}$和$\widehat{23}$。再用移心法将 O_1 和 O_2 向板厚方向移动尺寸 b，可得圆心 O_1'和 O_2'，并仍以 $O_1 1$ 和 $O_2 2$ 为半径，画出支架竖板内壁上圆弧的可见部分，见图 7-16d。同理可画出腰形孔上部半圆孔。然后作公切线连接上、下两部分，即得整个腰形孔的轴测投影，见图 7-16e。

4）整理、加深，完成全图，见图 7-16e。

三、组合体的正等轴测图

画组合体轴测图的基本方法与画组合体三视图一样，也是采用形体分析法，按照其各个组成部分形体的相对位置，逐个画出各组成形体的轴测图，即可得到整个组合体的轴测图。其实上例中的直角支架就是组合体，它的轴测图就是按照这种方法画出的。下面再举一例进一步说明。

例 7-7　已知：轴承座的三视图，见图 7-17a。

求作：它的正等轴测图。

分析：轴承座由底板、竖板和肋板三部分组成。底板上伴有圆角、小孔和通槽，竖板半圆端的中心也有一同心轴孔。画正等轴测图时，同样可应用形体分析法，逐一画出底板、竖板和肋板，并组合得到

轴承座的正等轴测图。

作图：1）在三视图上建立坐标系，见图 7-17a。

2）画出底板，包括圆角、小孔和通槽，见图 7-17b。

3）画出带轴孔的半圆端竖板，见图 7-17c。

4）画出肋板，见图 7-17d。

5）检查、整理，加深图线，完成全图，见图 7-17e。

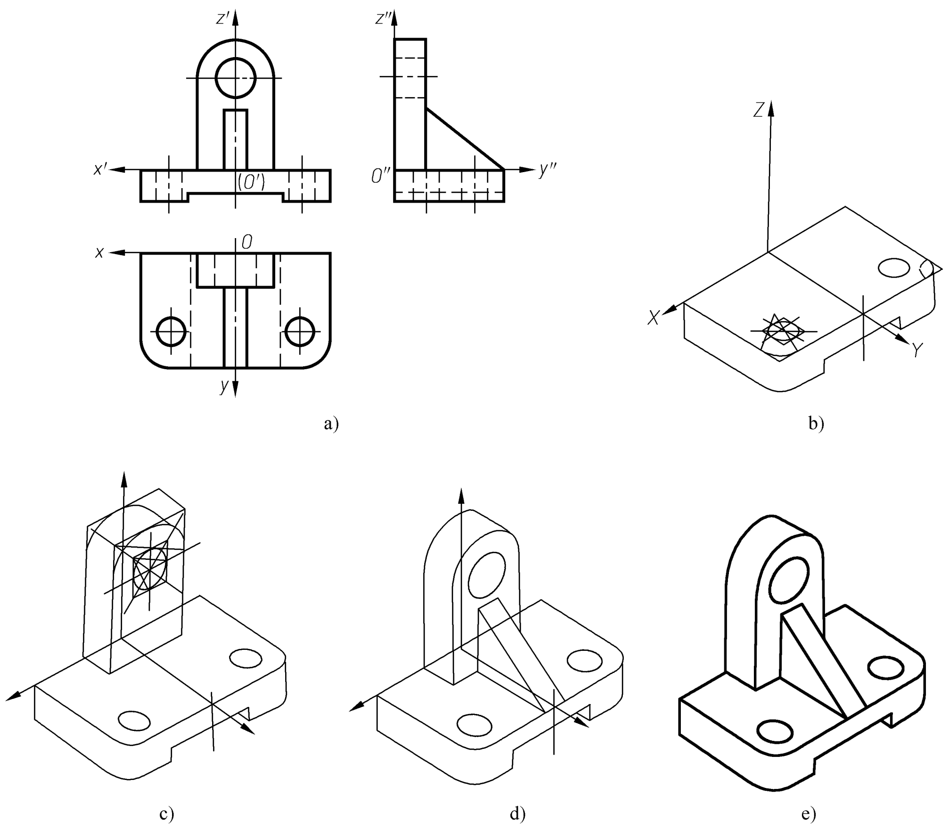


图 7-17　轴承座正等轴测图的画法

第三节　斜二轴测图

一、斜二轴测图的特点

斜二轴测图是轴向伸缩系数 $p_1 = r_1 \neq q_1$ 的斜轴测图。

在斜二轴测图中，由于坐标面 XOZ 平行于轴测投影面 P，根据平行投影的特性，在坐标面上的图形以及平行于该面的图形，其轴测投影均反映实形，X 轴和 Z 轴的轴向伸缩系数均为 1，即 $p_1 = r_1 = 1$，且轴间角 $\angle XOZ = 90°$；Y 轴的轴向伸缩系数以及轴间角 $\angle XOY$、$\angle YOZ$ 则随着投射方向的不同而不同。从立体感好和画图方便考虑，国家标准 GB/T 14692—2008《技术制图　投影法》中规定，在斜二轴测图中，取 Y 轴的轴向伸缩系数 $q_1 = 0.5$（折算方便），轴间角 $\angle XOY = \angle YOZ = 135°$（可用45°三角板作图）。综上所述，可得斜二轴测图的轴间角和轴向伸缩系数，见图 7-18。

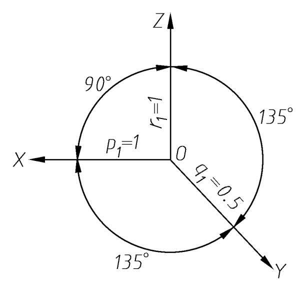


图 7-18　斜二轴测图的轴间角和轴向伸缩系数

二、斜二轴测图的画法

例7-8 已知：连杆的主、左视图，见图7-19a。

求作：它的斜二轴测图。

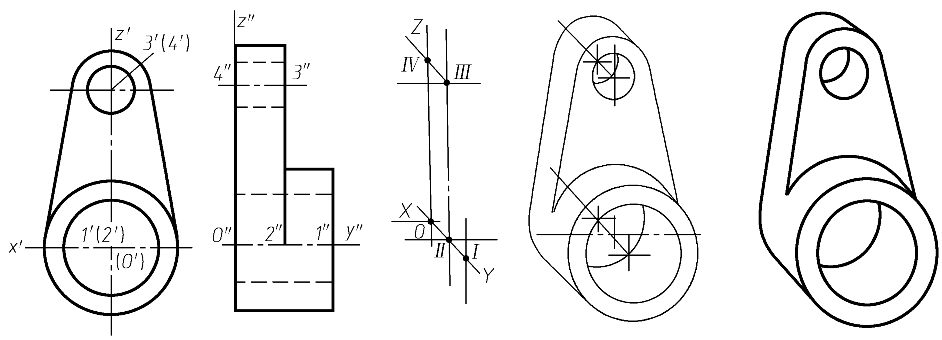
分析：该连杆由一个空心圆筒和一块带孔底板组成，且两者相切叠加。同时，该连杆表面上的圆和圆弧位于三个彼此平行的平面上，即连杆只有一个方向上有圆和圆弧。因此，画斜二轴测图时，轴测投影面宜设置在连杆的后表面上。然后按坐标法定出各圆和圆弧的圆心位置，并画出这些圆和圆弧。最后作出相应圆和圆弧的公切线，即可得到连杆的斜二轴测图。

作图：1）在两视图上确定坐标系，并标明各圆的圆心位置，见图7-19a。

2）画轴测轴，并用坐标法定出各圆的圆心位置Ⅰ、Ⅱ、O 和Ⅲ、Ⅳ，因为 Y 轴方向的轴向伸缩系数 $q_1=1/2$，故应取 OⅡ $=O''2''/2$，ⅠⅡ $=1''2''/2$，ⅢⅣ $=3''4''/2$，见图7-19b。

3）按1∶1在各自圆心位置处画出各圆和圆弧，并作出相应圆的公切线，见图7-19c。

4）整理、加深，完成全图，见图7-19d。



a) b) c) d)

图7-19 连杆斜二轴测图的画法

三、两种轴测图的比较

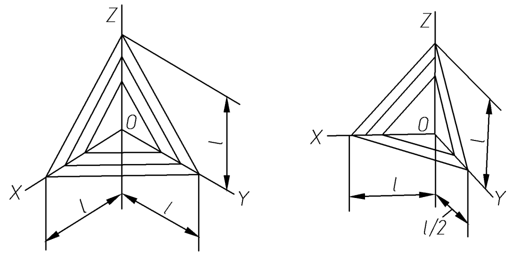
正等轴测图的三个轴间角相等，且均为120°，故三个坐标轴方向均可用三角板直接作出；又因轴向简化系数 $p=q=r=1$，故可按标注的尺寸（或从视图中量取的尺寸）用1∶1进行作图。此外各坐标面内圆的轴测投影椭圆的画法相同，均可采用菱形法画出，因此正等轴测图作图简便，应用广泛。

斜二轴测图的三个轴间角分别为90°、135°和135°，故三个坐标轴方向也可用三角板直接作出；又轴向伸缩系数 $p_1=r_1=1$，$q_1=0.5$，故量取尺寸也较方便。此外，平行于轴测投影面 XOZ 的圆或圆弧等曲线图形在轴测图中均反映实形，作图特别方便；但在其他两个面上圆的投影（椭圆）作图比较麻烦（本书未介绍）。因此斜二轴测图特别适合于用来绘制只有一个方向上有圆和曲线的物体。

第四节 轴测剖视图

在轴测图中，如果需要表达物体的内部结构形状，可以假想用剖切平面沿坐标面方向将物体剖开，画成轴测剖视图。在轴测剖视图中，剖切到的实体部分（断面）需要画出剖面符号。剖面符号的画法见图7-20。

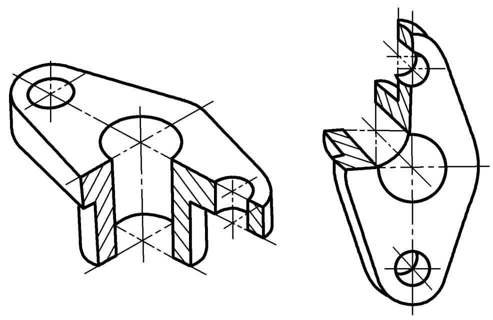
图7-21所示为同一物体的两种轴测剖视图。图7-21a所示为正等轴测剖视图；图7-21b所示为斜二轴测剖视图。



a)　b)

图 7-20　轴测剖视图中剖面符号的画法

a）画正等轴测图时　b）画斜二轴测图时



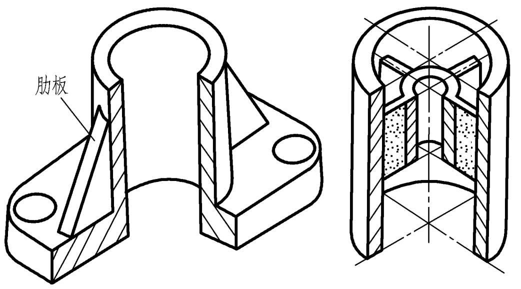
a)　b)

图 7-21　两种轴测剖视图

a）正等轴测剖视图　b）斜二轴测剖视图

当剖切平面通过机件的肋板或薄壁等结构的纵向对称平面时，这些结构都不画剖面符号，并用粗实线将它与邻接部分分开，见图 7-22a。如在图中表现不够清晰时，也允许在肋板或薄壁部分加画细点表示被剖切部分，见图 7-22b。

在轴测装配图中，为了区分相邻零件，剖面线应画成方向相反，或画成不同间隔、相互错开的形式，见图 7-23。



a)　b)

图 7-22　轴测剖视图中，肋板或薄壁的剖切画法

a）肋板剖面处不画剖面符号

b）肋板剖面处加画细点表示

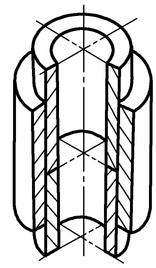


图 7-23　轴测装配图画法

第八章　机件常用的表达方法

绘制机械图样时，应完整、清晰地表达机件（物体）的结构形状，并做到看图方便、制图简便。然而，对于外形复杂的机件、具有较多内部结构的机件或者内外形都比较复杂的机件，仅仅采用前述三视图的表达方法，虽然可以完整地表达机件的结构形状，但视图中必将出现过多的虚线，很不清晰，给看图、画图和标注尺寸都带来不便。为此，国家标准 GB/T 17451—1998《技术制图　图样画法　视图》、GB/T 17452—1998《技术制图　图样画法　剖视图和断面图》、GB/T 4458. 1—2002《机械制图　图样画法　视图》、GB/T 4458. 6—2002《机械制图　图样画法　剖视图和断面图》中规定了机件的各种表达方法，以便根据机件的结构特点，灵活加以选用，从而达到上述要求。本章的任务就是介绍这些机件常用的表达方法。

第一节　视　　图

根据有关标准或规定，用正投影法所绘制的物体的图形称为视图。视图一般只画机件的可见部分，必要时才画出其不可见部分。视图通常有基本视图、向视图、斜视图和局部视图。下面分别予以介绍。

一、基本视图

机件向基本投影面投射所得的视图称为基本视图。基本投影面规定为正六面体的六个面，机件位于正六面体内，将机件向六个投影面投射，并按图 8-1 所示的方法展开就得到了六个基本视图，见图 8-2。其中主视图、俯视图和左视图就是第二章中介绍的三视图，另外三个视图的名称及其投射方向规定如下：

右视图——由右向左投射所得的视图；

仰视图——由下向上投射所得的视图；

后视图——由后向前投射所得的视图。

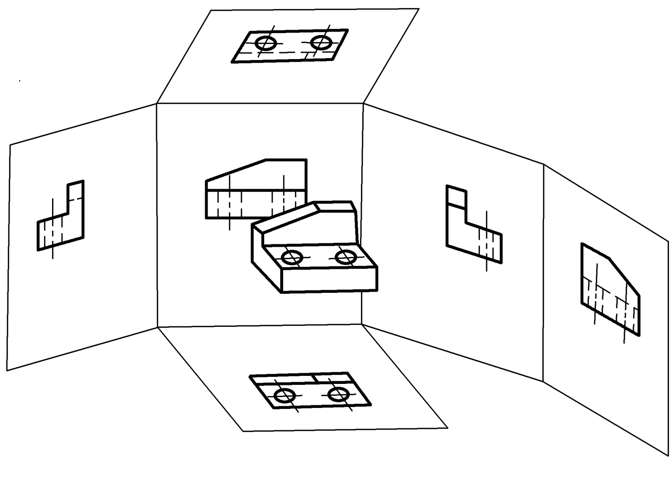


图 8-1　机件向六个基本投影面投射及其展开方法

在同一张图纸内，按图 8-2 所示配置视图时，一律不标注视图的名称。

需要注意：①六个基本视图是三视图的补充和完善，各视图之间仍符合“长对正、高平齐、宽相等”的投影关系；②主视图应尽量反映机件的主要特征，并根据表达机件结构形状的需要，灵活选用其他基本视图，以完整、清晰、简练地表达机件的结构形状。

二、向视图

向视图是可自由配置的视图。这种自由配置的方法称为向视配置法。这样做有利于合理利用图幅，但为了便于读图，向视图必须标注。通常在向视图的上方标出“×”（“×”为大写拉丁字母），在相应视图附近用箭头指明投射方向，并注上同样的字母，见图 8-3。图 8-3 中向视图 A、B 和 C，分别为右视图、仰视图和后视图。请读者与图 8-2 作对照。

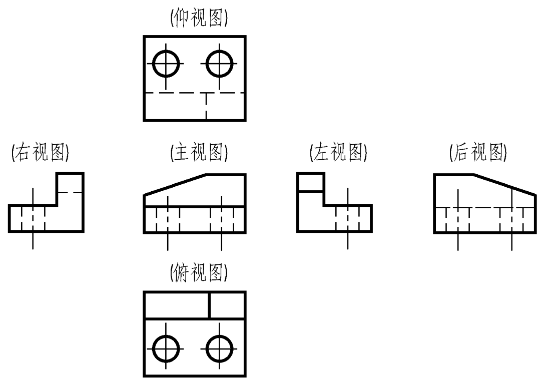


图 8-2　六个基本视图的配置关系

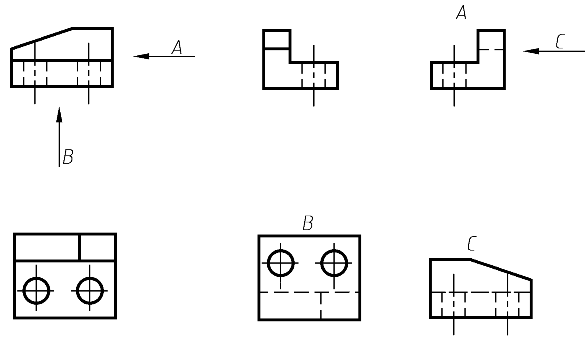
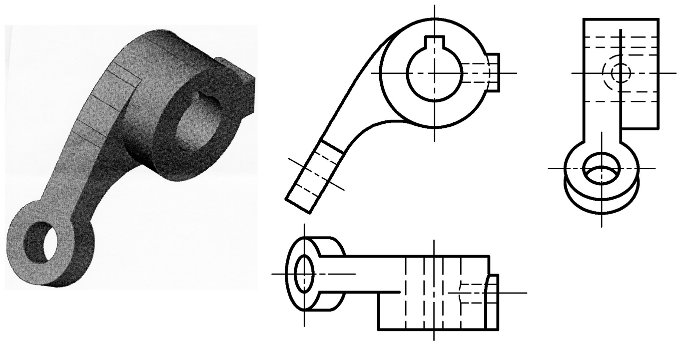


图 8-3　向视图及其标注

三、斜视图

图 8-4a 所示为一具有倾斜结构机件的轴测图；图 8-4b 是它的三视图。由于该机件斜臂部分的上、下表面都是正垂面，它们同时倾斜于水平投影面和侧面投影面，因此在俯、左视图上均不反映实形，如圆和圆弧的投影变成了椭圆和椭圆弧，因此不便于画图、读图和标注尺寸。

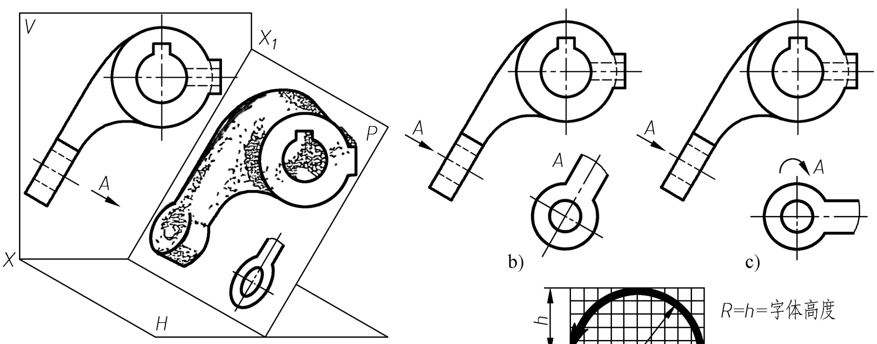


a)　b)

图 8-4　具有倾斜结构机件的轴测图和三视图

为了能真实、清晰地表达机件倾斜部分的结构形状，根据第五章投影变换原理，可以设置一个平行于该倾斜结构的新投影面 P，见图 8-5a；并从垂直于面 P 的 A 方向向面 P 投射，这样就可以得到一个反映倾斜结构实形的图形；再将面 P 向正面投影面 V 展开（绕 x_1 轴旋转、摊平），就得到了如图 8-5b 所示的 A 向（斜）视图。这种将机件的某一部分向不平行于基本投影面的平面投射所得的视图称为斜视图。

斜视图一般按投影关系配置并标注，见图 8-5b；也可按向视图的方式配置并标注；必要时，允许将斜视图旋转配置，以方便作图，此时的标注形式见图 8-5c。图 8-5c 中旋转符号“↷”（或“↶”）的箭头方向应为实际旋转方向，字母 A 应写在旋转符号的箭头一边。也允许将旋转的角度注写在字母之后，如↷A20°。旋转符号的画法见图 8-5d。



a)　b)　c)　d)

图 8-5　斜视图

a）斜视图的形成　b）按投影关系配置的斜视图　c）旋转配置的斜视图　d）旋转符号的画法

四、局部视图

上述机件的倾斜结构部分用主视图和 *A* 向斜视图已经表达清楚，因此，机件的俯视图可假想将该部分折断舍去后再画出，这样就得到了图 8-6中的俯视图。至此，只有物体右侧凸台的表面形状尚未表达出来。此时也不宜画出整个机件的右视图，而只需针对机件的凸台部分，采用一个 *B* 向视图即可表达清楚，见图 8-6。以上这种将机件的某一部分向基本投影面投射所得的视图称为局部视图。

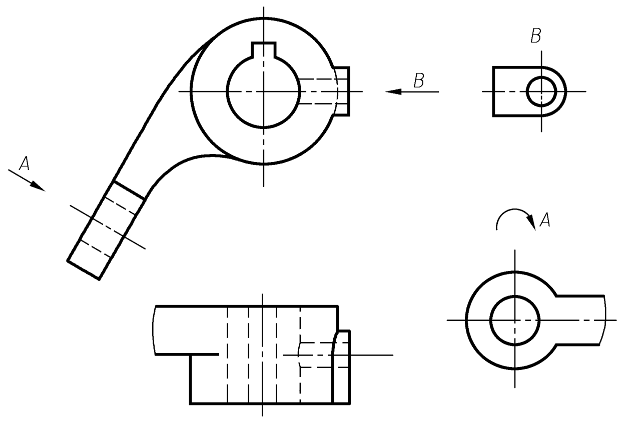


图 8-6　局部视图

局部视图可按基本视图的配置形式配置并省略标注，见图 8-6 中的俯视图；也可按向视图的配置形式配置并标注，见图 8-6 中的 *B* 向局部视图。

画局部视图时，其断裂边界用波浪线绘制，见图 8-6 中的俯视图。当所表示的局部视图的外轮廓封闭时，则不必画出其断裂边界线，见图 8-6 中的 *B* 向局部视图（对于斜视图，其断裂边界的画法与局部视图完全相同。为了深刻理解斜视图和局部视图，请读者对两者的异同之处作一个全面的分析和比较）。

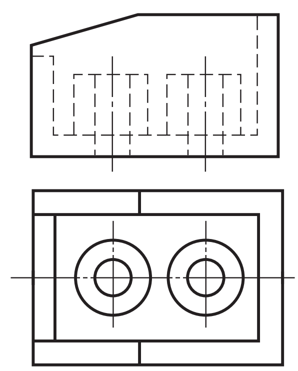
显然，上例中的机件用图 8-6 所示的主视图、*A* 向斜视图和两个局部视图（俯视图和 *B* 向视图）来表达，要比图 8-4b 中用三视图来表达简洁、清晰、合理。

第二节　剖　视　图

一、剖视图概念

用上节介绍的四种视图，可以清晰地表达出机件的外部结构形状（外形），所以统称为外形视图。然而，对于机件的内部结构形状（内形），在外形视图上都为不可见，需要用虚线来表达。如图 8-7 所示的机件，从它的主、俯视图可以看出，该机件是一个中空无顶的箱体，其底壁中间有两个圆形凸台和通孔（参见图 8-8）。它的主视图除了周边轮廓线是粗实线外，其余全部是虚线，因此画图、读图和标注尺寸都很不方便。

对于这类具有孔、槽等内部结构的机件，其内部结构越复杂，视图中的虚线就越多，视图也就越不清晰。为了解决这个问题，使原来不可见的内部结构成为可见，可假想用剖切面（平面或柱面）剖开机件，见图 8-8a，并将处在观察者和剖切面之间的部分移去，而将其余部分向投影面投射，这样得到的图形称为剖视图，简称剖视，见图 8-8b 中的主视图。


图 8-7　箱形机件的两视图

综上所述可见：视图主要用来表达机件的外部结构形状（外形）；而剖视图主要用来表达机件的内部结构形状（内形）。

二、剖视图的分类和剖切方法

1. 剖视图的分类

根据机件被剖切范围的大小，剖视图可以分为如下三类：

1）全剖视图——用剖切面完全地剖开机件所得的剖视图。

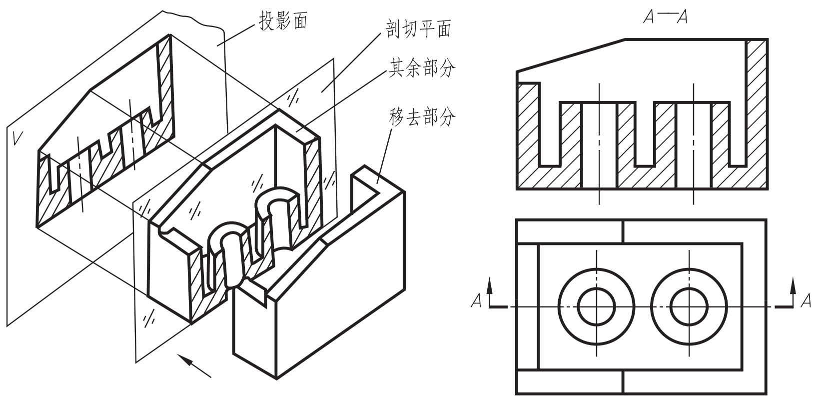


图 8-8　箱形机件的剖视图
a）剖视图概念　b）剖视图

2）半剖视图——当机件具有对称平面时，向垂直于对称平面的投影面上投射所得的图形，可以以对称中心线为界，一半画成剖视图，另一半画成视图，由此所得的剖视图。

3）局部剖视图——用剖切面局部地剖开机件所得的剖视图。

2. 剖视图的剖切面种类和剖切方法

画剖视图时，可根据机件的结构特点，选择以下剖切面剖开机件。

1）用一个剖切面（一般用平面，也可用柱面）剖切机件，这种剖切方法称为单一剖。单一剖又可分为下面两种情况：

① 用平行于某一基本投影面的平面（即投影面平行面）剖切。

② 用不平行于任何基本投影面的平面（一般用投影面垂直面）剖切，称为（单一）斜剖。

2）用几个平行的剖切平面剖切，这种剖切方法称为阶梯剖。

3）用几个相交的剖切平面（交线垂直于某一投影面）剖切，这种剖切方法称为旋转剖。

三、常见的剖视图

无论采用何种剖切面和相应的剖切方法，一般都可以画成全剖视图、半剖视图和局部剖视图。在表达机件时，究竟采用哪一种剖切面（剖切方法）和哪一种剖视图，需要根据机件的结构特点，以完整、清晰、简便地表达机件的内、外结构形状为原则来加以确定。现将应用最多、最为常见的几种剖视图介绍如下。

（一）单一剖的全剖视图

图 8-8b 中的箱形机件的主视图就是单一剖的全剖视图。下面分别介绍其画法、配置、剖面区域表示法及其注意事项等。

1. 画法

（1）确定剖切平面（或柱面）的位置和投射方向　剖切平面应优先选用投影面平行面（如图 8-8 中为正平面）；同时应通过机件上尽量多的孔、槽等内部结构的轴线或对称平面。投射方向应垂直于投影面。

（2）画出剖视图　剖视图应包括断面（剖切平面与机件的接触部分）的投影和剖切平面后面部分的投影，见图 8-9a。

（3）画出剖面符号　在剖面区域内画出剖面符号，见图 8-9b。

（4）画出剖切符号并标注

1）一般应在剖视图的上方用大写的拉丁字母标出剖视图的名称“×—×”。在相应的视图上用剖

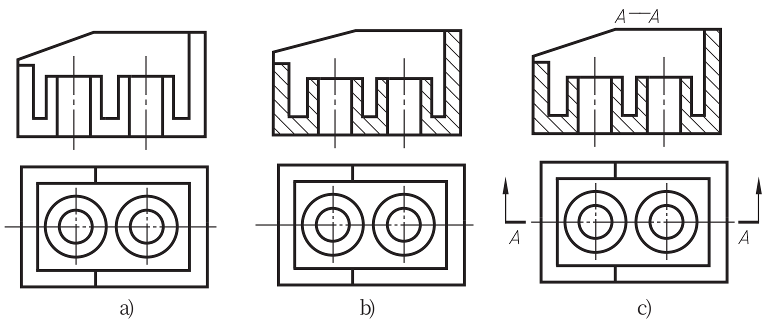


图8-9　剖视图的画法
a）确定剖切平面位置，画出剖视图　b）画出剖面符号
c）画出剖切符号并标注

切符号表示剖切位置（用粗实线短画表示）和投射方向（用箭头表示），并标注相同的字母，见图8-9c。

2）当剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略箭头，见图8-10a中的俯视图。

3）当单一剖切平面通过机件的对称平面或基本对称平面，且剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，不必标注，见图8-10a中的主视图。

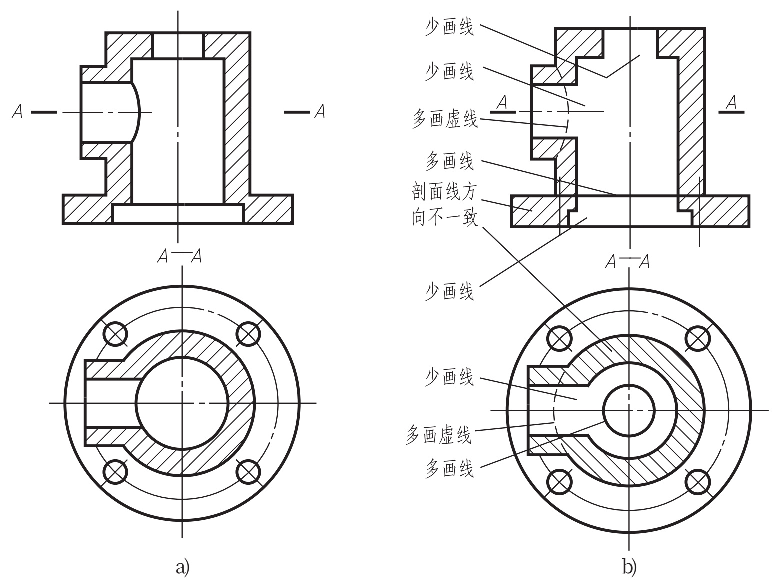


图8-10　剖视图画法的正误对比和剖视图标注的省略
a）剖视图的正确画法和标注的省略　b）剖视图的错误画法

2. 剖视图的配置

1）基本视图的配置规定同样适用于剖视图。

2）剖视图也可按投影关系配置在与剖切符号相对应的位置处。

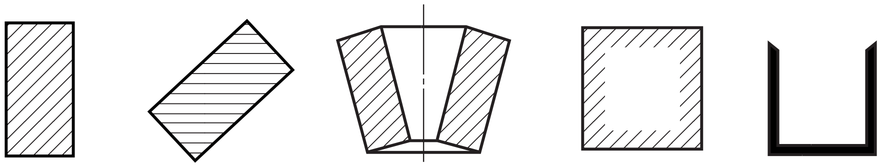
3）必要时允许配置在其他适当位置，即采用向视图的配置方法。

3. 剖视图（和断面图）的剖面区域表示法（GB/T 17453—2005）

1）在剖面区域内一般应画出剖面线。剖面线用细实线绘制，而且与剖面或断面外面轮廓成45°或相适宜的角度，见图8-11a、b、c。

2）同一个零件相隔的剖面或断面应使用相同的剖面线；相邻零件的剖面线应该用方向不同或间距不同的剖面线。

3）剖面线的间距应与剖面尺寸的比例相一致。即剖面尺寸大时剖面线的间距也大，剖面尺寸小时



a)　b)　c)　d)　e)

图 8-11　剖视图（和断面图）中剖面区域的表示法

剖面线的间距也小，但最小不得小于 0.7mm。

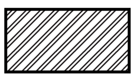
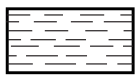
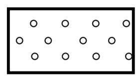
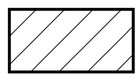
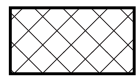
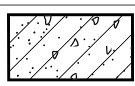
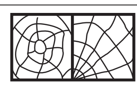
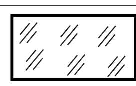
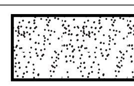
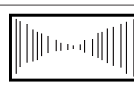
4）在大面积剖切的情况下，剖面线在这个剖切区域内可使用沿周线的等长剖面线表示，见图 8-11d。

5）在剖面内可以标注尺寸。在尺寸文字处剖面线应断开，即留出足够标注尺寸文字的位置。

6）狭小剖面可以用完全涂黑来表示，见图 8-11e。

7）当需要在剖面区域内表示某种特殊材料时，可以使用一个图案。图案可以自行拟定，或参照一个合适的标准，如 CAD 中预定义的图案。但图案的含义应采用图例等方式，清楚地在图样上注明。对此国家标准中只作了上述原则规定。为了方便设计者，所以本书推荐使用表 8-1 中的各种图案来表示相应的特殊材料，仅供参考。

表 8-1　特殊材料的剖面符号

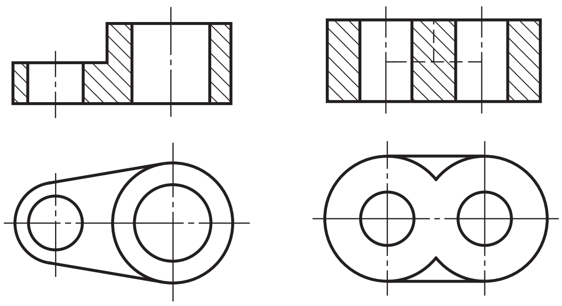
特殊材料的剖面符号示例	材料	固体材料	液体材料	气体材料	金属材料 普通砖	非金属材料 除普通砖外
	剖面符号					
特殊材料的剖面符号示例	材料	钢筋混凝土	木材	玻璃或其他 透明材料	砂、砂轮、粉末冶金、 陶瓷刀片	叠钢片
	剖面符号					

4. 画剖视图时应注意的事项

1）剖视图的剖切机件是假想的，它不是真正地将机件剖开并拿走一部分，所以除剖视图按规定画法绘制外，其他视图仍应按完整机件画出，如图 8-8b、图 8-12 中的俯视图。

2）同一个机件，可同时采用多个剖视图（和断面图）来共同表达。而每个剖视图都应从完整机件出发，分别选择剖切方法、剖切面位置以及画成何种剖视图，见图 8-10a。

3）在剖视图中，如尚有不可见结构投影的虚线，联系其他视图已经表达清楚时，其虚线应省略不画，见图 8-12a；只有对尚未表达清楚的不可见结构，才保留虚线表示，见图 8-12b。



a)　b)

图 8-12　剖视图中的虚线处理

a）虚线省略　b）虚线保留

4）剖视图不仅要画出断面的投影，还要画出断面后面的可见投影，不要漏画这些图线；而位于剖切平面前面已被假想移去的部分，则一般不应再画出其投影，不要多画这些图线（需要时，可用双点画线画出，参见表 8-2 中⑭）。图 8-10b 为剖视图中常见的错误画法，其正确的画法见图 8-10a。

上述单一剖的全剖视图的画法、标注、配置、剖面区域表示法以及注意事项等，对于其他各种剖视图原则上都是适用的，所以在下面介绍这些剖视图时，着重分析它们各自的特点。

单一剖的全剖视图适用于内形比较复杂，相对于投影面又不对称的机件或者外形比较简单的对称机件。

（二）单一剖的半剖视图

图 8-13a 所示机件，它由上下两块薄板和中间的大圆柱体组合而成。两块薄板的四周均带有圆角和四个小通孔；圆柱体内腔的上部为一个大圆柱孔，下部为一个小圆柱孔，中间用圆锥面（孔）连接（见图 8-13b）；同时圆柱体的前后方向上均有一个带通孔的凸台。该机件的结构特点是：①外形比较复杂，又有较多的内部结构，内外形都需要表达；②机件左右对称和前后对称。

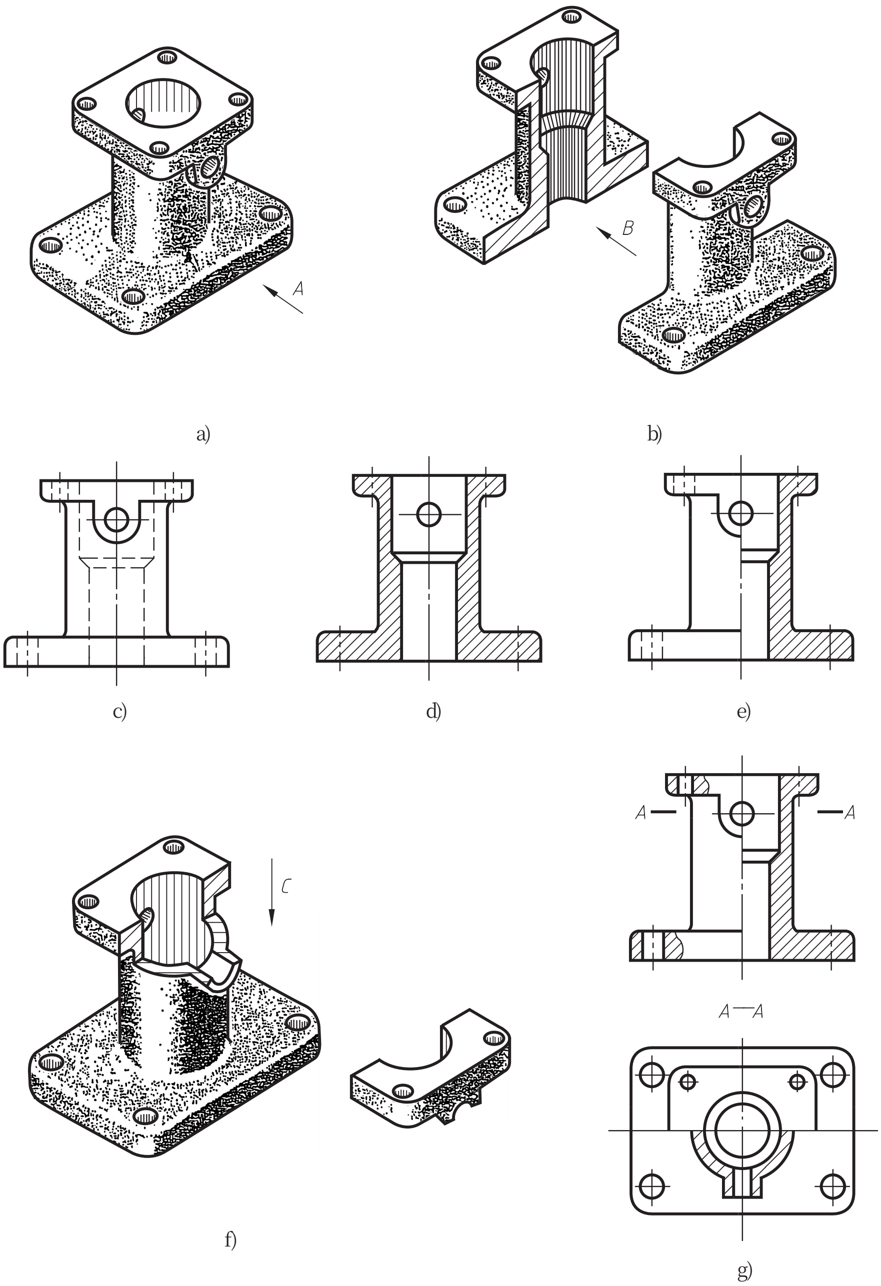


图 8-13　单一剖的半剖视图

今从 A 方向投射，画出机件的主视图，见图 8-13a、c。由于圆柱体内腔结构均为不可见，所以图中虚线很多，很不清晰（其俯视图的虚线也较多，请读者试画之）。若改用通过机件前后对称平面剖切的全剖视图（向 B 方向投射）来表达，见图 8-13b、d，则圆柱体内腔成为可见，然而圆柱体前方的凸台被剖去，故凸台的形状、位置都没有表达出来。即两者均顾此失彼，内外形不能兼顾。

根据该机件具有左右对称的结构特点和半剖视图的规定，可以以机件的对称中心线为界，一半（左边）画成视图，表达外形；另一边（右边）画成剖视图，表达内形。这种取视图（见图 8-13c）的

一半和全剖视图（见图 8-13d）的一半得到的组合图形，就是半剖视图，见图 8-13e。

同理，该机件的俯视图也可画成半剖视图，见图 8-13f、g。又考虑到在半剖的主视图中，两块薄板上的小孔均未剖到，仍为虚线，故再采用两处局部剖视（详见后述）来表达，这样就得到了该机件的完整表达方案，见图 8-13g，从而简洁、清晰地表达出机件的全部结构形状。

国家标准还规定：机件的形状接近于对称（基本对称），且不对称部分已另有图形表达清楚时，也可以画成半剖视图。由底板和空心圆筒两部分组成的接近对称的机件见图 8-14。在圆筒内孔壁上只有一侧有键槽（不对称），而且在俯视图上已表达清楚，故其主视图可画成半剖视图。

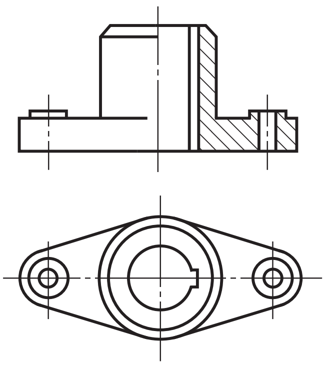


图 8-14　接近于对称机件的半剖视图

画半剖视图时的注意事项如下：

1）只有对称机件或接近于对称的机件，且不对称的部分已另有图形表达清楚时，才能将相应的视图画成半剖视图。

2）半个视图和半个剖视图的分界线应为点画线（而不是粗实线）。

3）在全剖视图中介绍的虚线处理原则，也适用于半剖视图。请读者来分析：在图 8-13g 的主、俯视图中省略了哪些虚线。

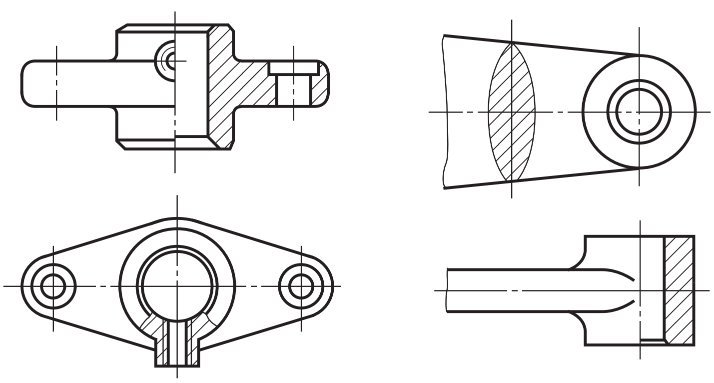
4）半剖视图的标注方法和省略规定，也与全剖视图相同。请读者对图 8-13g 中的标注进行分析说明。

半剖视图适用于内、外形都需要表达，且结构为对称或基本对称的机件。

（三）单一剖的局部剖视图

对于图 8-13a 所示的机件，其主视图画成半剖视图后，因底板和顶板四周的小孔都剖不到，仍需画出虚线来表达，不清晰，见图 8-13e。为此可假想通过某个小孔轴线的正平面来局部地剖开机件，并移去前面部分再投射，见图 8-13g 中的主视图。这种用一个剖切平面局部地剖开机件所得的剖视图称为单一剖的局部剖视图。

局部剖视图用波浪线分界。波浪线不应和图样上的其他图线重合或画在其延长线上，以免混淆；波浪线表示机件的断裂线，应画在机件的实体部分，所以当通过机件上孔、槽等不连续结构时，波浪线应断开，不能穿“空”而过，见图 8-15a 中的俯视图；当被剖切结构为回转体时，允许将该结构的轴线作为局部剖视和视图的分界线，见图 8-15b 中的俯视图。



a)　　b)

图 8-15　单一剖的局部剖视图

a）用波浪线分界　b）用点画线（轴线）分界

需要注意：图 8-15a 中的主视图为半剖视图，而不是局部剖视图。图 8-15b 中的俯视图是局部剖视图，而不是半剖视图。请读者分清两者的区别。

当单一剖切平面的剖切位置明确时，局部剖视图不必标注。

局部剖视图一般画在视图之内，与视图重合，见图 8-13g、图 8-15；必要时，也可单独画在视图之外，此时应进行标注。

局部剖视图的剖切位置和剖切范围由表达机件的实际需要确定，哪里需要剖哪里，十分方便，因此应用广泛，主要用于需要表达局部内形（不适于全剖视、又不满足半剖视条件）的机件。

（四）单一斜剖的全剖视图

图 8-16a 所示机件为一空心弯管，并有圆形底板、方形顶板以及凸台和小孔等结构。该机件的表达

方案见图 8-16b。其中主视图采用了局部剖视，同时反映了弯管的主要内外结构形状（请读者详细说明）；又用一个 *B* 向局部视图反映底板的形状和四个均布小孔；如果再用一个斜视图，从左上方对顶板投射，可反映顶板的形状和四个小孔，然而凸台和凸台中心的小孔为不可见，投影均为虚线，很不清晰。因此，可设想在顶板的左上方设置一个与顶板上表面平行的新投影面（正垂面），然后用一个通过小孔轴线且平行于新投影面的平面剖开机件，并向新投影面投射，如图 8-16b 中剖切符号所示，这样就得到了（单一）斜剖的全剖视图 *A*—*A*。它与斜视图相比，能同时反映顶板的形状（外形）以及凸台和小孔结构（内形）。

为了方便读图，斜剖的全剖视图一般按投影关系配置，见图 8-16b 中的 *A*—*A*；为了合理利用图幅，也可配置在其他适当的位置；为了便于画图，在不致引起误解时，允许将图形 *A*—*A* 旋转转正后画出，见图 8-16b 中的 *A*—*A* ↶。

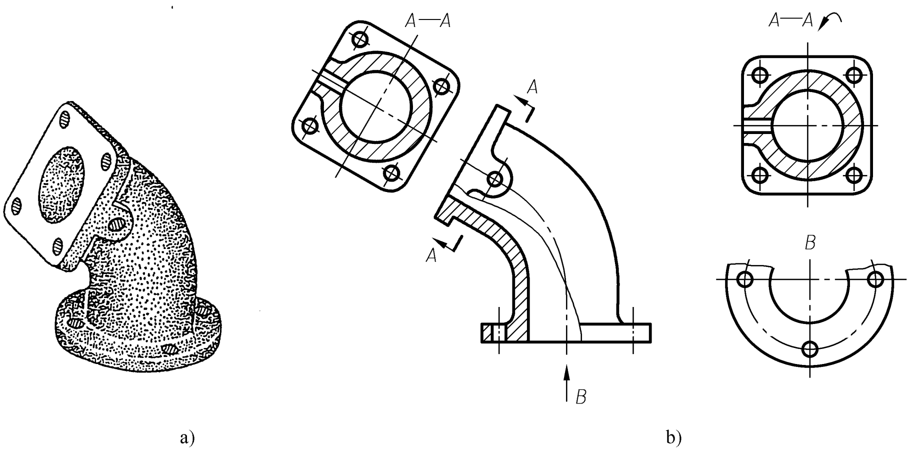


图 8-16　单一斜剖的全剖视图

斜剖的全剖视图必须标注，见图 8-16b。需要指出：尽管这种剖视图的剖切符号是倾斜的，其剖视图形（未经旋转时）也是倾斜的，但表示剖视图名称的字母必须水平书写。

这种剖视图适用于表达具有倾斜结构内形的机件。

（五）旋转剖的全剖视图

以图 8-17a 所示机件为例。该机件由中间的带孔圆柱体、一个水平臂和另一个斜臂三部分组成。两臂的端部各有一个带孔小圆柱体。从 *B* 方向投射画出该机件的主视图，均为可见投影（斜油孔处可画成局部剖视），而在俯视图中，三个轴线平行的圆柱孔均为不可见（显然无法用单一剖都剖到），且三条轴线位于两个相交的平面上，一个水平面和一个正垂面，其交线为大圆孔的轴线，垂直于正面，因此可以假想用这两个相交平面剖开机件，然后将剖切平面剖开的倾斜结构及其有关部分旋转到与选定的投影面（水平面）平行，见图 8-17a，再进行投射（先剖切，后旋转，再投射），这样得到的全剖视图称为旋转剖的全剖视图，见图 8-17b 中的俯视图（图 8-17 中肋板剖到，作不剖处理，详见后述）。

画图时的注意事项如下：

1）用旋转剖剖切该机件，其斜臂部分必须假想为绕带孔大圆柱体的轴线旋转到水平位置后，再向下投射，从而画出俯视图。因斜臂的旋转是假想的，其俯视图画成旋转剖的全剖视图后，在主视图中，斜臂仍应按没有旋转时的实际位置的真实投影画出。因此斜臂部分在主、俯视图中的投影不直接满足“长对正”的投影关系，只有在假想旋转后才符合“长对正”的投影关系。

2）在剖切平面后的其他结构，一般仍按原来位置投射，如图 8-17 中的斜油孔。

3）旋转剖的全剖视图必须标注，并应在剖切平面的起讫和转折位置（相交处）都画出剖切符号，标注相同的字母（字母应水平书写）；当转折处的地位有限，又不致引起误解时，允许省略该处的字

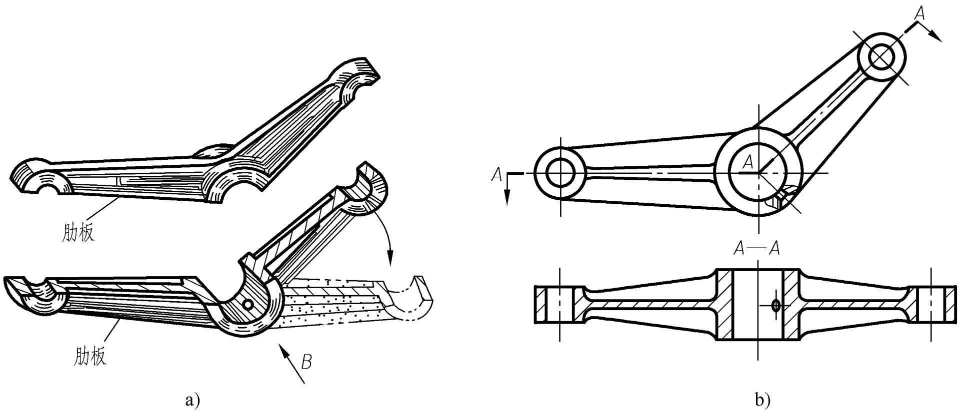


图 8-17　旋转剖的全剖视图

母；起讫处剖切符号中的箭头应与粗短画垂直，见图 8-17b；当剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可以省略箭头。

旋转剖的全剖视图适用于内部结构处在两个（或多个）相交平面上的机件。

（六）阶梯剖的全剖视图

用阶梯剖的方法获得的全剖视图称为阶梯剖的全剖视图，见图 8-18。

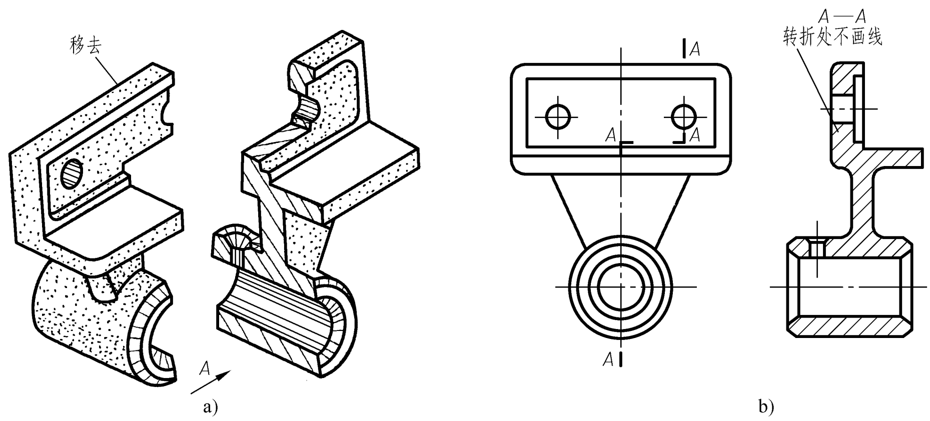


图 8-18　阶梯剖的全剖视图

画图时的注意事项如下：

1）剖切符号不应与图形中的轮廓线重合，以免混淆。

2）连接各平行剖切平面的公垂面，在剖视图中不应画出其投影线。

3）在剖视图中，不应出现不完整的要素。为此需要正确选择剖切平面的位置。

4）阶梯剖的全剖视图必须标注。其标注内容、方法和省略规定与旋转剖的全剖视图基本相同，见图 8-18b。

阶梯剖的全剖视图适用于表达内部结构处在几个相互平行的平面上的机件。

第三节　断　面　图

一、断面图概念

图 8-19a 所示机件的主要结构由多段不同直径的同轴线圆柱体所组成。这种结构形状的机件在机械

工程中通常称为轴（阶梯轴）；此外，在轴的左边轴段上还有一个局部结构——键槽。该轴只需采用一个主视图，结合尺寸标注（图8-19b中未注出），就可以把各轴段的直径和长度以及键槽的形状、位置都表达清楚，唯有键槽的深度尚未表达出来。①如果该轴用主、俯两个视图来表达（俯视图请读者试画之），则在俯视图上虽然可以表达键槽的深度，但其投影为虚线，不清晰，同时俯视图上除键槽外的图形均为重复表达。②如图8-19b所示，如果该轴用主、左两个视图来表达，则在左视图上，一方面键槽为不可见，其投影为虚线，不清晰；另一方面各轴段的投影为一些同心圆（且有虚线圆），也是多余的表达。③如果改画为一个剖视图，即用主视图和一个剖视图来表达，则在剖视图中，键槽虽成为可见，但截断面后面部分的投影圆仍为不必要的表达，使图形复杂化，也不便于标注键槽的深度尺寸。为此，可设想只补画出需要表达的截断面形状，即用主视图和一个断面图形来表达，这样既可以清晰地表达出键槽的深度，又省去了截断面后面不必要的投影，使表达简洁、清晰，便于画图、读图和标注尺寸。这种假想用剖切（平）面将机件的某处切断，仅画出断面的图形，称为断面图，简称断面。

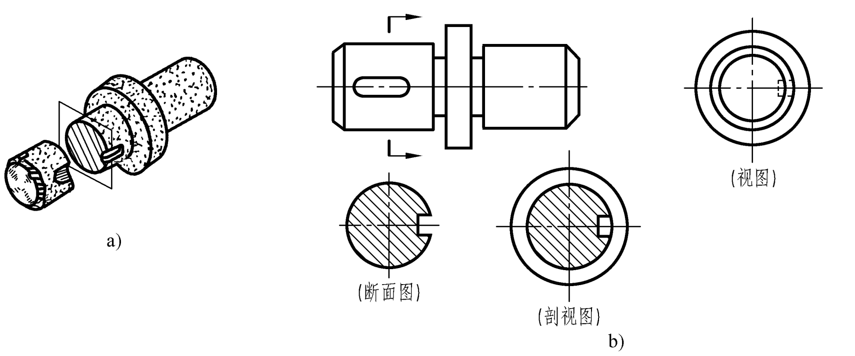


图8-19　断面概念——移出断面（一）

a）轴测图　b）断面图与视图、剖视图的比较

综上所述可见，断面图与剖视图的区别在于：断面图只画出断面的形状，而剖视图除画出断面的形状外，还要画出断面后的投影。

断面图主要用来表达机件上的某些局部结构，如轴上的键槽、销孔以及肋板、轮辐和型材的断面形状等。

二、断面的种类

断面可分为移出断面和重合断面两种。

（一）移出断面

画在视图之外的断面称为移出断面，见图8-19～图8-24。

1. 配置

1）按投影关系配置，见图8-20。

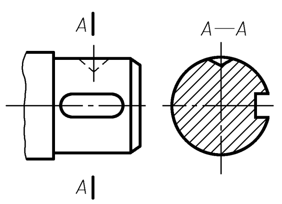


图8-20　移出断面（二）

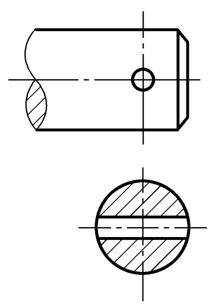


图8-21　移出断面（三）

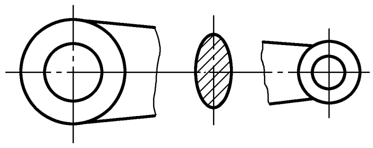


图 8-22　移出断面（四）

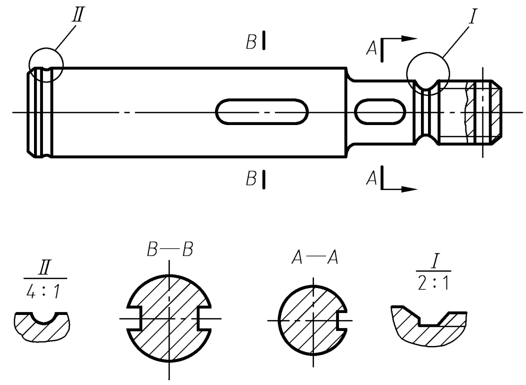


图 8-23　移出断面（五）

2）配置在剖切符号的延长线上，见图 8-19。

3）配置在剖切线（指示剖切面位置的点画线）的延长线上，见图 8-21。

4）断面的图形对称时，也可画在视图的中断处，见图 8-22。

5）配置在其他适当的位置，见图 8-23。

2. 画法

1）移出断面的轮廓线用粗实线绘制，在剖面区域内应画出剖面线，并对断面进行标注。

2）当剖切平面通过回转面形成的孔或凹坑的轴线时，则这些结构按剖视图要求绘制，见图 8-20、图 8-21。

3）当剖切平面通过非圆孔，会导致出现完全分离的断面时，则这些结构应按剖视图要求绘制，见图 8-24。

4）在不致引起误解时，允许将（斜）断面图形旋转画出，见图 8-24。

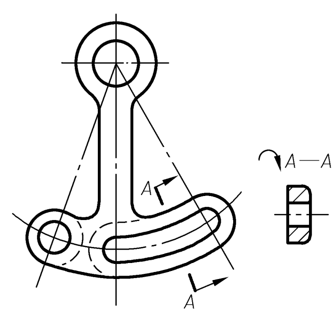


图 8-24　移出断面（六）

3. 标注

1）一般应用大写的拉丁字母标注移出断面的名称“×—×”，在相应的视图上用剖切符号表示剖切位置和投射方向，并标注相同的字母，见图 8-23 中的 *A—A*。

2）移出（斜）断面图形如经旋转后画出时，其标注形式见图 8-24。

3）配置在剖切符号延长线上的不对称移出断面，不必标注字母，见图 8-19。

4）不配置在剖切符号延长线上的对称移出断面（见图 8-23 中的 *B—B*）以及按投影关系配置的移出断面（见图 8-20），一般不必标注箭头。

5）配置在剖切线延长线上的对称移出断面以及配置在视图中断处的对称移出断面，不必标注，见图 8-21 和图 8-22。

（二）重合断面

画在视图之内的断面称为重合断面。

1. 画法

1）重合断面的轮廓线用细实线绘制，并在剖面区域内画出剖面线，见图 8-25、图 8-26。

2）当视图中的轮廓线与重合断面的图线重叠时，视图中的轮廓线仍应连续画出，不可中断，见图 8-25。

2. 标注

不对称的重合断面可以省略标注，见图 8-25。对称的重合断面不必标注，见图 8-26。

请读者比较移出断面和重合断面的异同点和适用场合。

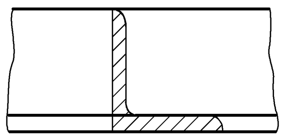


图 8-25　不对称重合断面

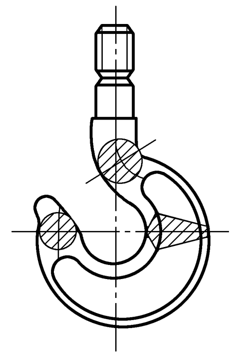


图 8-26　对称重合断面

第四节　图样简化画法和局部放大图

简化制图可以显著减少绘图工作量和提高绘图速度，同时也明显提高图样的清晰度和便于阅读，从而缩短设计和制造周期，降低产品成本，使企业得到高效率和高效益。为此国家标准 GB/T 16675.1—2012《技术制图　简化表示法　第 1 部分：图样画法》中明确规定了图样的简化原则、基本要求以及一系列的简化画法。下面作扼要介绍。

一、简化原则

1）保证不致引起误解和不会产生理解的多义性。

2）便于识读和绘制。

二、基本要求

1）应避免不必要的视图和剖视图。如图 8-27 所示，通过标注尺寸 15、$\phi42$、$\phi68$ 和 $3\times\phi8$EQS，只用一个视图就能充分表达机件。

2）在不致引起误解时，应避免使用虚线表示不可见结构。

3）尽可能使用有关标准中规定的符号表达设计要求，如用符号加标注表示中心孔，见表 8-2 中⑯。

4）尽可能减少相同内容的重复绘制。

对于图样中经常见到的重复结构、重复要素、重复投影等重复内容，只需画出一处或少量几处，其余可用细实线连接法或（和）中心位置表示法予以简化，见表 8-2 中的②、③。

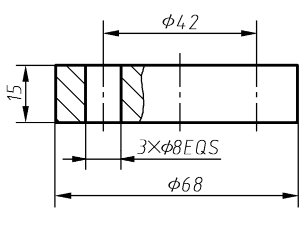
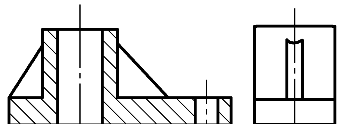


图 8-27　避免不必要的视图和剖视图举例

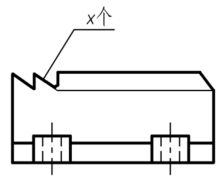
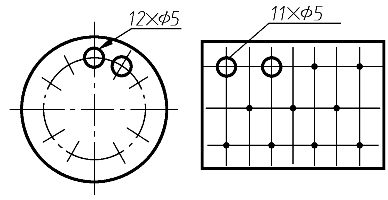
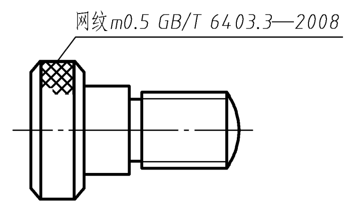
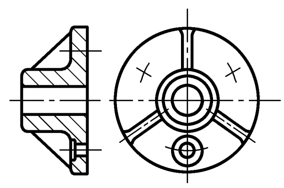
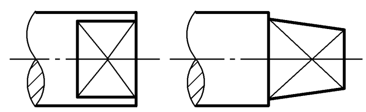
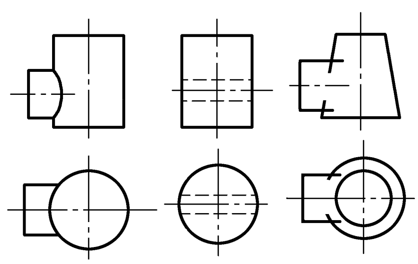
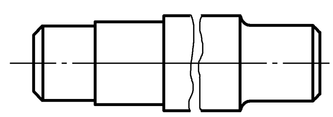
三、简化画法

为了便于图文对照和理解，这里将常用的简化画法列于表 8-2。

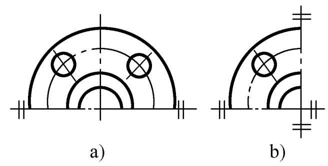
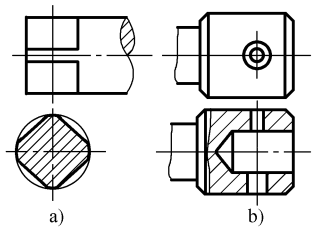
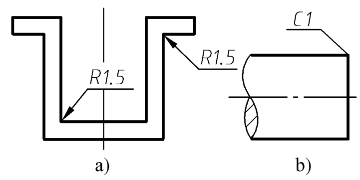
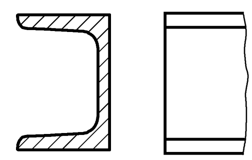
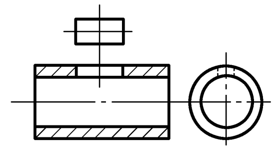
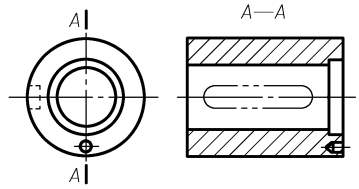
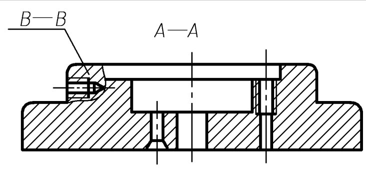
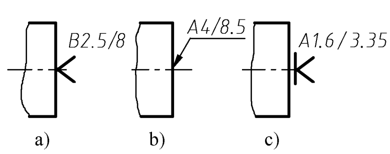
表 8-2　图样的简化画法（GB/T 16675.1—2012）

简 化 画 法	图　例
①机件的肋、轮辐及薄壁等，如按纵向剖切，均按不剖绘制。即这些结构都不画剖面线，并用粗实线将它与邻接部分分开	

（续）

简　化　画　法	图　　例
②当机件具有若干相同结构（如齿、槽等），并按一定规律分布时，只需画出几个完整的结构，其余用细实线连接，并在图中注明该结构的总数	
③若干直径相同且呈规律分布的孔，可以仅画出一个或少量几个，其余只需用细点画线或“✛”表示其中心位置，并在图中注明孔的总数	 a)　　b)
④机件上的滚花，一般采用在轮廓线附近用粗实线局部画出的方法表示，也可省略不画，而在零件图上或技术要求中注明它的具体要求	
⑤带有规则分布结构要素的回转零件，需要绘制剖视图时，可以将其结构要素旋转到剖切平面上绘制	
⑥当图形不能充分表达平面时，可用平面符号（相交的两细实线）表示	 a)　　b)
⑦在不致引起误解时，过渡线、相贯线可以简化，如用圆弧或直线来代替非圆曲线。也可采用模糊画法表示相贯线	 a)　　b)　　c)
⑧较长的机件（轴、杆、型材、连杆等），沿长度方向形状一致或按一定规律变化时，可断开后缩短绘制（折断画法）	

（续）

<table>
<tr><th>简　化　画　法</th><th>图　　例</th></tr>
<tr><td>⑨在不致引起误解时，对称机件的视图可只画一半或四分之一，并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线（对称符号）</td><td></td></tr>
<tr><td>⑩机件上较小的结构，如在一个图形中已表达清楚时，其他图形可简化或省略</td><td></td></tr>
<tr><td>⑪在不致引起误解时，零件图中的小圆角、锐边的小倒圆或45°小倒角允许省略不画；但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明，如全部铸造圆角 R5</td><td></td></tr>
<tr><td>⑫机件上斜度不大的结构，如在一个图形中已表达清楚时，其他图形可按小端画出</td><td></td></tr>
<tr><td>⑬零件上对称结构的局部视图，可按右图所示的方法绘制</td><td></td></tr>
<tr><td>⑭在需要表示位于剖切平面前的结构时，这些结构按假想投影的轮廓线绘制</td><td></td></tr>
<tr><td>⑮在剖视图的断面中可再作一次局部剖视。此时两个断面的剖面线应同方向、同间隔，但要互相错开，并用引出线标注其名称</td><td></td></tr>
<tr><td>⑯尽可能使用有关标准中规定的符号（如中心孔的符号）表达设计要求。a 图：完工零件上保留中心孔；c 图：不保留中心孔；b 图：保留或不保留中心孔均可</td><td></td></tr>
</table>

四、局部放大图

将机件的部分结构用大于原图形所采用的比例画出的图形，称为局部放大图，见图 8-23。局部放大图可以清晰地表达机件上某些细小结构，并便于标注尺寸。

画局部放大图时应注意：

1）局部放大图可画成视图、剖视图或断面图，它与被放大部分原来的表达方法无关。局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。

2）绘制局部放大图时，一般应用细实线圈出被放大的部位。当一个机件上有几个被放大部分时，必须用罗马数字依次标明被放大的部位，并在局部放大图的上方标出相应的罗马数字和所采用的比例，见图 8-23。当机件被放大的部位只有一个时，在局部放大图的上方只需注明所采用的比例（参见图 10-11）。

3）局部放大图的比例仍为图形与实物间的比例，即仍按比例的定义确定。而不是局部放大图与被放大部位原图之间的比例。

第五节　机件表达方法小结和综合应用举例

一、机件常用表达方法小结

上面介绍了机件常用的各种表达方法，现归纳如下：

机件常用的表达方法
- 视图
  - 基本视图
  - 局部视图
  - 斜视图
  - 向视图
- 剖视
  - 全剖视图
  - 半剖视图
  - 局部剖视图
  - 剖切方法㊀
    - 单一剖（含斜剖）
    - 旋转剖
    - 阶梯剖
- 断面
  - 移出断面
  - 重合断面
- 局部放大图
- 简化画法

二、综合应用举例

在实际工作中，仅仅掌握上述机件的各种表达方法还是远远不够的，更重要的是确定机件的视图表达方案，即要根据机件的具体结构形状，灵活运用这些方法，用一组最少、最简明的图形把机件完整、清晰地表达出来。对于同一个机件，一般可初步拟订几个表达方案，进行分析比较，并从中选择最佳方案。具体选择时应注意以下几点：

1）优先选好主视图。主视图是最主要的视图，是整个视图表达方案的核心，它直接影响整个视图表达方案的优劣。

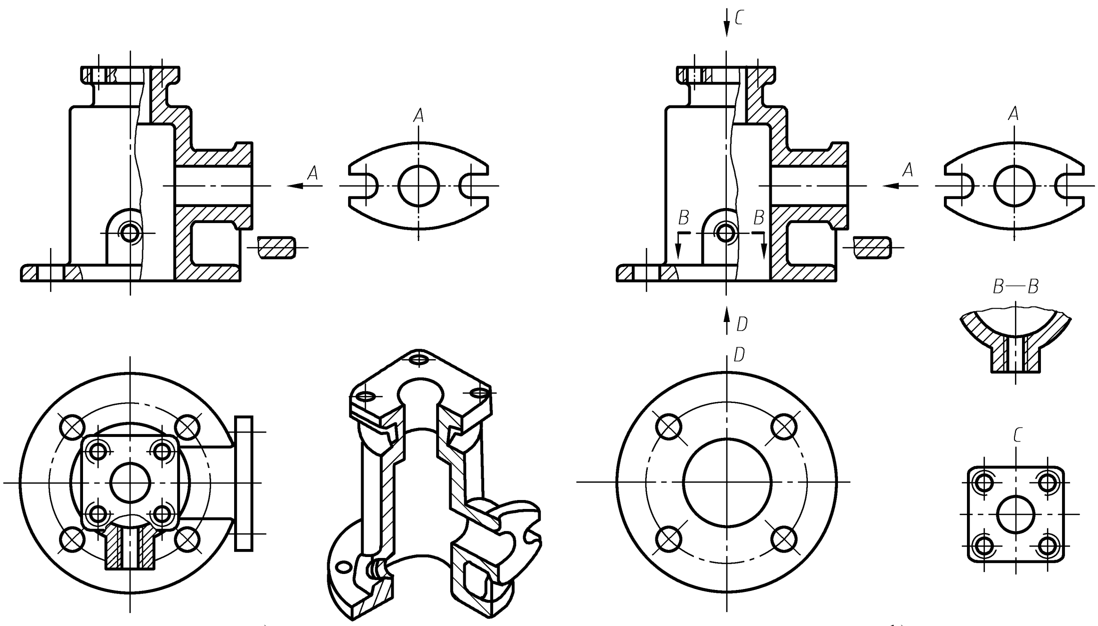
2）选择必要的其他视图。为了把机件的内外结构形状和相对位置表达清楚，应再选择俯、左视图等基本视图，并补充局部视图、斜视图、局部剖视、斜剖视、断面以及简化画法等。

3）视图表达方案的选择一定要和表达方法的选择同时考虑，并优先在基本视图上作剖视。

4）机件的视图表达方案是一个整体，必须统筹安排，通盘考虑。每个视图应有各自的表达重点，“各司其职”，同时各个视图之间又要紧密联系，互为补充，“分工协作”，既要避免不必要的重复表达，又要防止某些结构形状的遗漏表达。总之要用最简洁、精练的视图表达方案把机件的结构形状完整、清晰地表达出来。

下面就图 8-28 所示机件的表达方案分析如下：

㊀ 新标准将剖切面分为三类：单一剖切面、几个平行的剖切平面和几个相交的剖切面，并且没有规定简称。本书原则遵守，但为了叙述方便，仍沿用了简称。



a) b)

图 8-28 机件的表达方案举例

图 8-28 所示机件是一壳体，它的内、外结构形状都比较复杂。这类机件的表达一般应优先选用三视图等基本视图，并优先在基本视图上作剖视。方案 a 首先选用主、俯两个基本视图，所选主视图的投射方向能较好地反映出机件的主要结构形状，为了保留筒体和前面凸台的外形，同时又表达内形，采用了局部剖视。因此该视图既表达了中间台阶孔和右方水平孔的结构以及两者的连通情况，又表达了上、下两块连接板上的孔是通孔，还表达了前面凸台的形状。俯视图则表达了上、下两块连接板的形状以及连接板上孔的数量和位置，同时采用了局部剖表达凸台上的螺孔是与内孔相通的通孔。不难分析，左视图反映的内容基本上属重复表达，所以舍去不要。这样主、俯两个视图已把机件的内、外结构形状基本表达清楚，同时保持了很好的整体感。剩下的问题是肋的断面形状和右面腰鼓形连接板的形状没有表达出来，因此再加一个移出断面和一个 *A* 向局部视图分别予以表达。至此，机件的结构形状已全部表达清楚，这一组四个图形组成的表达方案是比较理想的方案。

该机件也可采用图 8-28b 的表达方案，该方案实际上是将方案 a 中的俯视图所表达的三个主要内容分别用两个局部视图和一个局部剖视图来取代。方案 b 虽然图形有所增加，但每个图形都很简明，投影关系清晰，更便于读图，所以也是一个很好的表达方案。

该机件的表达，若在方案 a 的基础上，去掉 *A* 向局部视图和一个移出断面，而改用一个右视图来取代的方案，是否可行？请读者自行分析。

第六节 第三角画法简介

我国国家标准规定，机件的图样按正投影法绘制，并采用第一角画法（也称第一角投影）。而美国、日本、加拿大、澳大利亚等国则采用第三角画法（也称第三角投影）。为了便于国际间的技术交流，下面以对比方式对第三角画法作简要介绍。

如图 8-29 所示，用水平和铅垂的两投影面将空间分成四个区域，并按顺序编号，依次称为第一分角、第二分角、第三分角和第四分角。

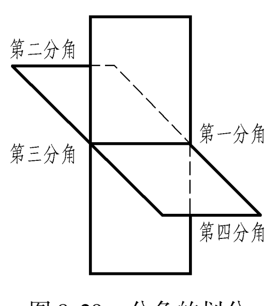
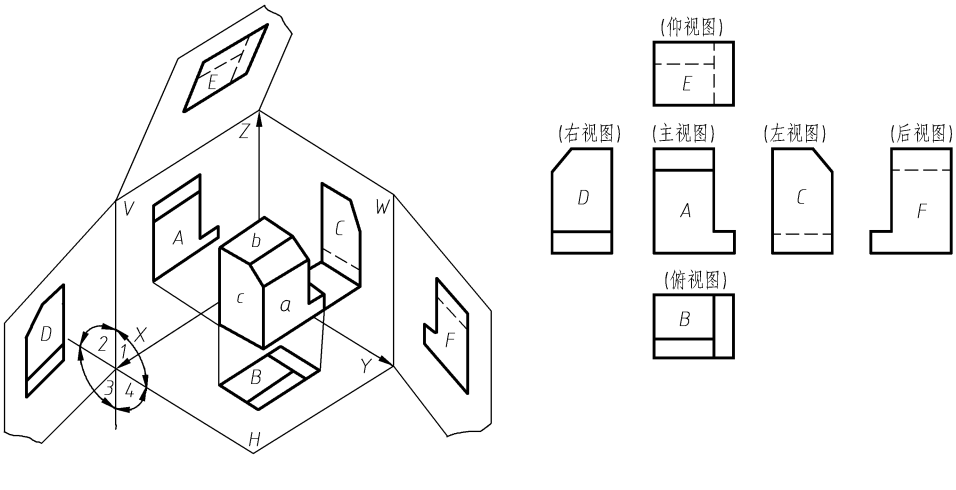


图 8-29 分角的划分

第一角画法是将物体置于第一分角内，并使其处于观察者与投影面之间而得到的多面正投影。图 8-30a、b 分别为第一角画法时，六个基本投影面

的展开及所得的六个基本视图这就是前面已经介绍的画法，参见图 8-1、图 8-2。



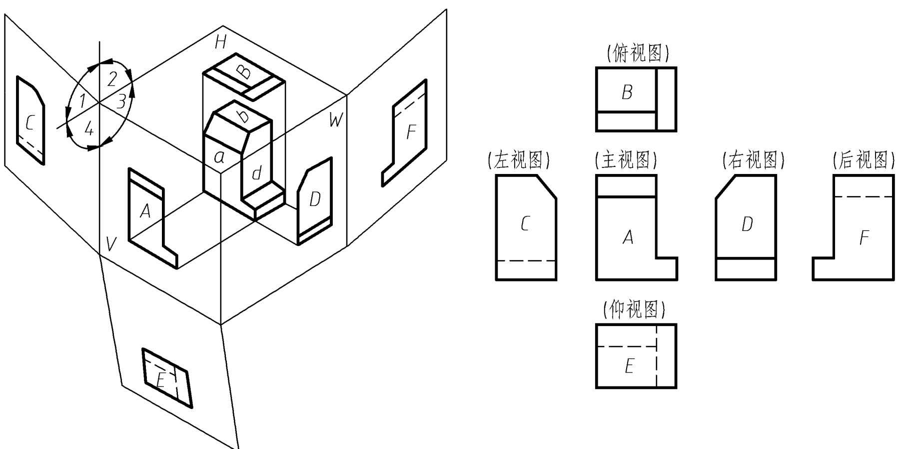
a)　　b)

图 8-30　第一角画法

a）六个基本投影面的展开　b）六个基本视图的规定配置

第三角画法是将物体置于第三分角内，并使其投影面（视为透明）处于观察者与物体之间而得到的多面正投影。图 8-31a、b 分别为第三角画法时，六个基本投影面的展开及所得的六个基本视图。

图 8-32a、b 分别为第一角画法和第三角画法的识别符号。由于我国规定采用第一角画法，所以在图样中其识别符号可省略不予画出。如在按合同规定的涉外工程中，必须使用第三角画法时，为了避免引起误解，此时必须在图样中标题栏右下角的“投影符号”栏内，画出其识别符号。



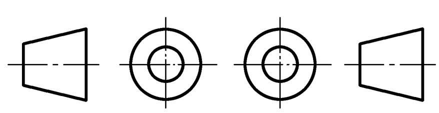
a)　　b)

图 8-31　第三角画法

a）六个基本投影面的展开　b）六个基本视图的规定配置

下面把两种画法进行比较：

1）两种画法均采用正投影法绘制，也都有六个基本投影面和六个基本视图，并且各视图之间也都遵循“长对正、高平齐、宽相等”的投影规律。



a)　　b)

图 8-32　第一角画法和第三角画法的识别符号

a）第一角画法的识别符号　b）第三角画法的识别符号

2）第一角画法将物体放在第一分角内，人、物体、投影面三者之间的位置关系为“人—物—面”，即物体在中间；而第三角画法将物体放在第三分角内；人、物体、

投影面三者之间的位置关系是“人—面—物”，即投影面在中间。

3）六个基本投影面的展开方法不同。第一角画法时，正面 V（正六面体的后表面）不动，其他各投影面向 V 面（向后）展开，与 V 面摊平，见图 8-30；第三角画法时，正面 V（正六面体的前表面）不动，其他各投影面向 V 面（向前）展开，与 V 面摊平，见图 8-31。按各自的方法展开并配置在同一张图纸内的六个基本视图都不必注写视图的名称。

图 8-30b 和图 8-31b 是用上述两种画法画出的同一物体的六个基本视图，由图可见，两种画法的六个基本视图中，其同名视图的形状完全相同，只是配置（位置）不同。其中，主视图和后视图的位置相同，而左视图和右视图的位置相互对调，俯视图和仰视图的位置也相互对调。

第九章　标准件和常用件

本章将介绍紧固件螺栓、螺柱、螺钉、垫圈、螺母、键、销和滚动轴承等标准件以及常用件弹簧、齿轮。

第一节　螺　　纹

上述紧固件螺栓、螺柱、螺钉、螺母（垫圈）等都是通过螺纹来实现紧固连接的，因此在介绍紧固件之前，先对螺纹作一介绍。

一、螺纹概念

在圆柱或圆锥表面上，沿着螺旋线所形成的具有规定牙型的连续凸起[㊀]称为螺纹，见图 9-1。其中在圆柱表面上所形成的螺纹称为圆柱螺纹，见图 9-1a、b；在圆锥表面上所形成的螺纹称为圆锥螺纹，见图 9-1c。螺纹又有内、外螺纹之分。在圆柱或圆锥外表面上所形成的螺纹称为外螺纹，见图 9-1a、c；在圆柱或圆锥内表面上所形成的螺纹称为内螺纹，见图 9-1b。

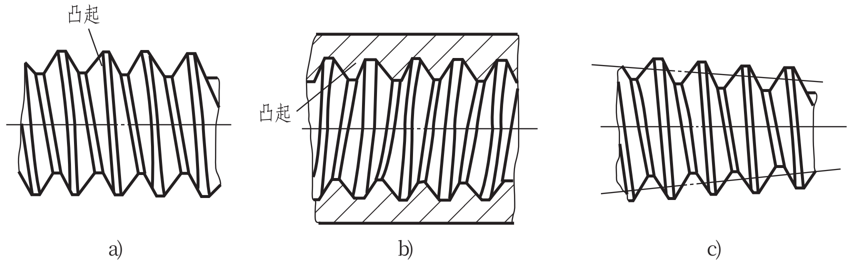


图 9-1　螺纹

a）圆柱外螺纹　b）圆柱内螺纹　c）圆锥外螺纹

二、螺纹的五个基本要素

通常内、外螺纹总是旋合在一起成对使用的，这种内、外螺纹相互旋合形成的连接称为螺纹副。构成螺纹副的条件是它们的下列五个基本要素都必须相同。

1. 牙型

在通过螺纹轴线的断面上，螺纹的轮廓形状称为牙型。常见的螺纹牙型有三角形、梯形、锯齿形和矩形等，见图 9-2。在螺纹牙型上，两相邻牙侧间的夹角称为牙型角，用 α 表示。

2. 直径

（1）大径　与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱（或圆锥）的直径，即螺纹的最大直径。内、外螺纹的大径分别用 D 和 d 表示，见图 9-3。

（2）小径　与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱（或圆锥）的直径，即螺纹的最小直径。内、外螺纹的小径分别用 D_1 和 d_1 表示。

（3）顶径　与外螺纹或内螺纹牙顶相切的假想圆柱（或圆锥）的直径，即外螺纹的大径或内螺纹的小径。

㊀　凸起是指螺纹两侧面间的实体部分，又称牙。

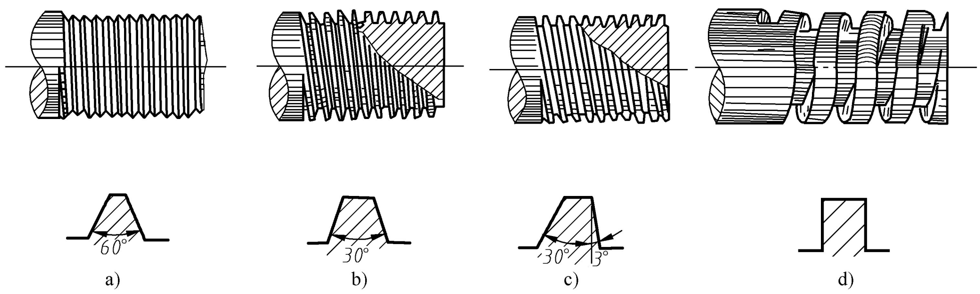


图 9-2　螺纹的牙型和牙型角

a）三角形　b）梯形　c）锯齿形　d）矩形

（4）底径　与外螺纹或内螺纹牙底相切的假想圆柱（或圆锥）的直径，即外螺纹的小径或内螺纹的大径。

（5）中径　一个假想圆柱（或圆锥）的直径，该圆柱（或圆锥）的母线通过牙型上沟槽和凸起宽度相等的地方。内、外螺纹的中径分别用 D_2 和 d_2 表示。该假想圆柱（或圆锥）称为中径圆柱（或中径圆锥），其母线称为中径线，其轴线称为螺纹轴线。

（6）公称直径　代表螺纹尺寸的直径，通常是指螺纹的大径，而管螺纹则用尺寸代号表示。

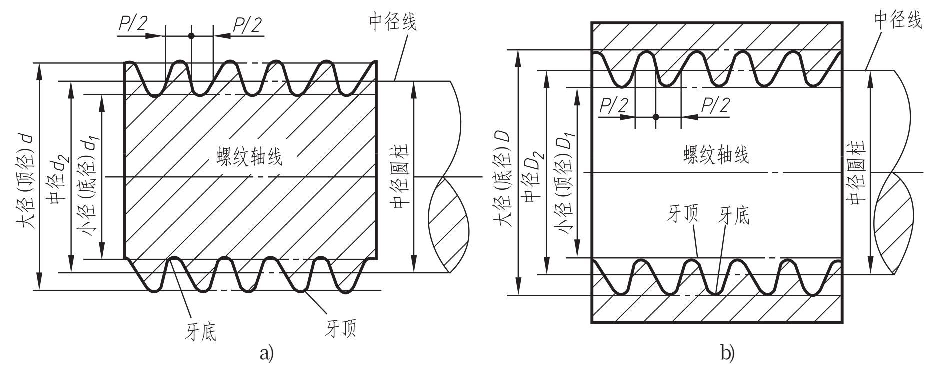


图 9-3　螺纹的直径

a）外螺纹　b）内螺纹

3. 线数

形成螺纹时所沿螺旋线的条数称为螺纹线数。沿一条螺旋线所形成的螺纹称为单线螺纹，见图 9-4a；沿两条或两条以上轴向等距分布的螺旋线所形成的螺纹称为多线螺纹，如双线螺纹（见图 9-4b）、三线螺纹、四线螺纹，螺纹的线数用 n 表示。

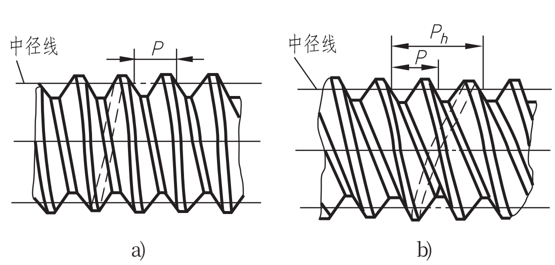


图 9-4　螺纹的螺距、导程和线数

a）单线螺纹　b）双线螺纹

4. 螺距与导程

螺纹相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为螺距，用“P”表示，见图 9-4。而同一条螺旋线上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为导程，用“P_h”表示，见图 9-4b。

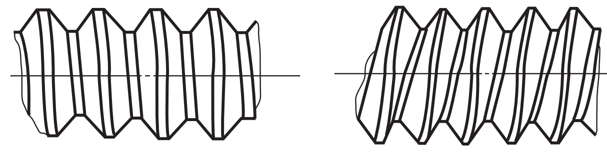
显然，对于多线螺纹，螺距、导程和线数三者之间有如下的关系，即

$$P_h = nP \tag{9-1}$$

5. 旋向

螺纹按旋向不同可分为右旋螺纹和左旋螺纹两种。顺时针旋转时旋入的螺纹称为右旋螺纹，见图

9-5a；逆时针旋转时旋入的螺纹称为左旋螺纹，见图 9-5b。



a)　b)

图 9-5　螺纹的旋向

a）右旋　b）左旋

三、螺纹的分类

螺纹的分类方法较多，除上面已经介绍的可分为圆柱螺纹和圆锥螺纹、内螺纹和外螺纹、单线螺纹和多线螺纹外，还可按用途和牙型特点等作如下的分类：

- 连接螺纹
  - 普通螺纹
    - 粗牙普通螺纹
    - 细牙普通螺纹
  - 管螺纹
    - 55°非密封管螺纹——圆柱内螺纹和圆柱外螺纹旋合
    - 55°密封管螺纹
      - 圆锥内螺纹和圆锥外螺纹旋合
      - 圆柱内螺纹和圆锥外螺纹旋合
- 传动螺纹
  - 梯形螺纹
  - 锯齿形螺纹
  - 矩形螺纹

为了便于设计、制造和使用，上述各种螺纹均已标准化，称为标准螺纹。所谓标准螺纹，是指牙型、大径和螺距均符合国家标准规定的螺纹。本章只讨论标准螺纹，并主要介绍应用最多的普通螺纹、55°非密封管螺纹（圆柱管螺纹）和梯形螺纹。

1. 普通螺纹

普通螺纹是最常用的一种连接螺纹，其基本牙型见图 9-6。其牙型为等边三角形，牙顶和沟槽底部稍为削平，牙型角 α 为 60°。

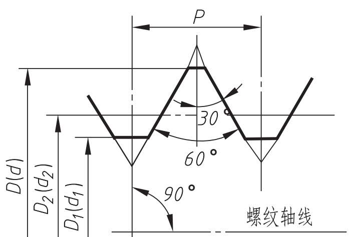
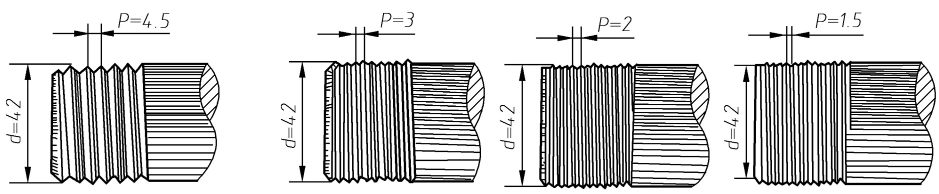


图 9-6　普通螺纹的基本牙型

根据国家标准规定，普通螺纹在每一标准大径下，有几种不同的螺距，如大径为 42 时，其螺距有 4.5、3、2 和 1.5 四种，见图 9-7。其中螺距最大的一种螺纹称为粗牙普通螺纹，见图 9-7a；而其余三种螺距的螺纹均称为细牙普通螺纹，见图 9-7b、c、d。

一般用途的连接应采用牙齿大、强度高的粗牙普通螺纹；而细牙普通螺纹主要用于有紧密性要求的连接和薄壁零件的连接。



a)　b)　c)　d)

图 9-7　普通螺纹的分类

a）粗牙普通螺纹　b）、c）、d）细牙普通螺纹

普通螺纹的直径和螺距系列以及公称尺寸等见附录 3。

2. 管螺纹

管螺纹也是一种常用的连接螺纹，主要用于管件的连接，也可用于其他薄壁零件的连接。根据螺纹副本身是否具有密封性，管螺纹可分为下列两类：

1）55°密封管螺纹（GB/T 7306.1～7306.2—2000），即螺纹副本身具有密封性的管螺纹。它包括圆锥内螺纹和圆锥外螺纹连接以及圆柱内螺纹和圆锥外螺纹连接两种形式。

2）55°非密封管螺纹（GB/T 7307—2001），即螺纹副本身不具有密封性的管螺纹。若要求连接后

具有密封性，可拧紧螺纹副来压紧螺纹副外的密封面，也可在螺纹副间添加密封物。它是圆柱内螺纹和圆柱外螺纹连接，其基本牙型为等腰三角形，牙型角 α 为55°，且在牙型顶端和沟槽底部做成圆弧形，见图9-8。它的规格和公称尺寸见附录4。

3. 梯形螺纹

梯形螺纹是应用最多的一种传动螺纹，可用于传递双向的运动和动力。梯形螺纹的基本牙型为等腰梯形，牙型角为30°，见图9-9。它的直径和螺距系列以及公称尺寸见附录5。

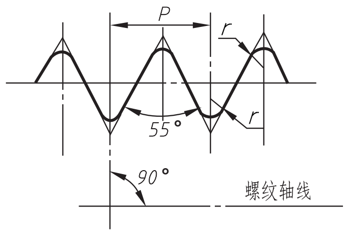


图9-8 圆柱管螺纹的基本牙型

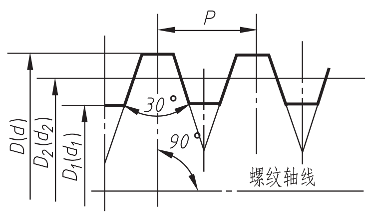


图9-9 梯形螺纹的基本牙型

四、螺纹的画法

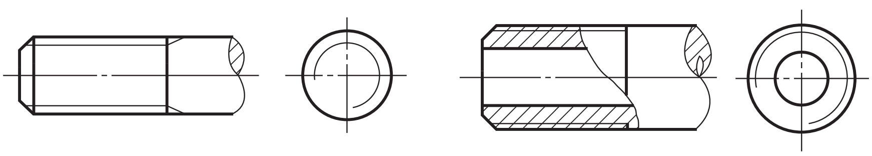
螺纹的真实投影比较复杂，为简化作图，国家标准GB/T 4459.1—1995《机械制图　螺纹及螺纹紧固件表示法》中规定了螺纹的画法。

1. 外螺纹的画法（见图9-10）

1）外螺纹的大径（顶径）用粗实线表示。

2）外螺纹的小径（底径）用细实线表示，在螺杆的倒角或倒圆部分也应画出；在垂直于螺纹轴线投影面的视图（以下称为端视图）中，表示小径的细实线圆只画约3/4圈，且倒角的投影圆省略不画。

3）有效螺纹[㊀]的终止界线（简称螺纹终止线）用粗实线表示，见图9-10a；当画成剖视时，则螺纹终止线只画出牙顶到牙底部分的一小段，见图9-10b。



a) b)

图9-10 外螺纹的画法

a）不剖时 b）剖切时

4）当需要表示螺纹收尾时，螺尾部分的牙底用与轴线成30°的细实线绘制，见图9-10a。

5）在剖视或断面图中，剖面线必须画到大径（粗实线）处，见图9-10b。

2. 内螺纹的画法（见图9-11）

内螺纹一般多画成剖视图，其规定画法如下：

1）内螺纹的小径（顶径）用粗实线表示。

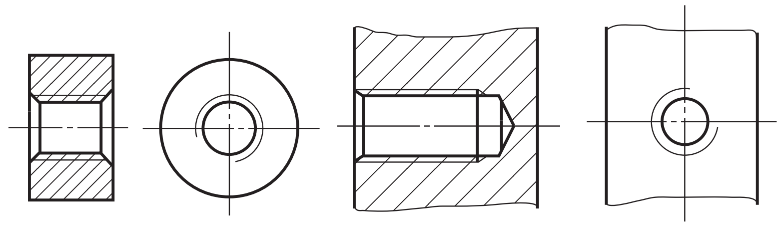
2）内螺纹的大径（底径）用细实线表示，在端视图中，表示大径的细实线圆只画约3/4圈，且倒角的投影圆省略不画。

3）螺纹的终止线用粗实线画出。当需要表示螺纹收尾时，螺尾部分的牙底用与轴线成30°的细实线绘制，见图9-11b。

4）在剖视或断面图中，剖面线必须画到小径（粗实线）处，见图9-11。

㊀ 有效螺纹包括完整螺纹（牙顶和牙底均具有完整形状的螺纹）和不完整螺纹（牙底完整而牙顶不完整的螺纹），不包括螺尾（向光滑表面过渡的牙底不完整的螺纹）。

5）绘制不穿通的螺孔（盲螺孔）时，一般将钻孔深度和螺纹部分的深度分别画出，见图9-11b。



a)　　b)

图9-11　内螺纹的剖视画法

a）通螺孔　b）盲螺孔

6）当内螺纹不剖画出时，则不可见螺纹的所有图线均按虚线绘制，见图9-12。

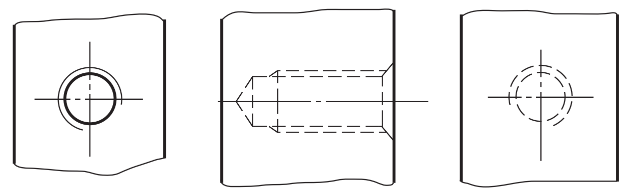


图9-12　内螺纹的不剖画法

下面将内、外螺纹画法的要点小结如下：

1）螺纹的顶径用粗实线表示。

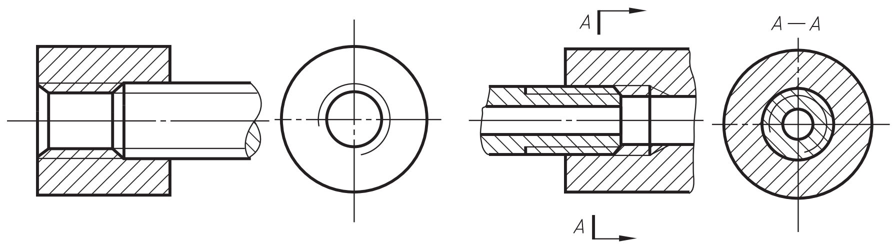
2）螺纹的底径用细实线表示，在端视图中，表示底径的细实线圆只画约3/4圈，且倒角的投影圆省略不画。

3）螺纹的终止线用粗实线表示。

4）在剖视或断面图中，剖面线都必须画到顶径（粗实线）处。

3. 内、外螺纹的连接画法

以剖视表示内、外螺纹连接时，其旋合部分应按外螺纹的画法绘制，其余部分仍按各自的画法表示，见图9-13。



a)　　b)

图9-13　内、外螺纹的连接画法

需要注意：

1）内、外螺纹的大径线应对齐，小径线也应对齐。

2）图9-13a的左视图中按内螺纹画出，而图9-13b的左视图（*A*—*A* 剖视）中按外螺纹画出。

3）在剖视图中，内、外螺纹的剖面线均应画到顶径（粗实线）处为止，见图9-10、图9-11、图9-13。

五、螺纹的标记

上述螺纹的规定画法虽然简便易画，却不能反映出螺纹的五个基本要素以及加工精度和旋合长度等要求，为此，在图样上必须标注螺纹的规定标记。

1. 普通螺纹的标记（GB/T 197—2003）

普通螺纹完整的标记内容和形式如下：

例如：M16×P_h3P1.5-5g6g-S-LH

其中，螺纹特征代号：M——表示普通螺纹；尺寸代号：$16\times P_h3P1.5$——表示螺纹公称直径（大径）为16mm，导程 P_h 为3mm，螺距P为1.5mm；公差带代号：5g 6g——表示中径公差带为5g，顶径公差带为6g（小写字母为外螺纹，大写字母为内螺纹）；旋合长度代号：S——表示短旋合长度（L表示长旋合长度，N表示中等旋合长度）；旋向代号：LH表示左旋。

上述普通螺纹的规定标记，在下列情况时可以简化：

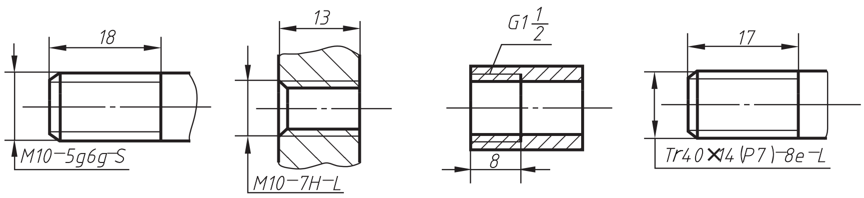
1）单线普通螺纹时，尺寸代号为“公称直径×螺距”，此时不必注写“P_h”和“P”字样；当又为粗牙普通螺纹时，螺距省略不注，故尺寸代号仅为公称直径。

2）中径与顶径公差带代号相同时，只注写一个公差带代号。又当公差带代号外螺纹为6g，内螺纹为6H时（为中等精度的常用公差带），省略不注。

3）旋合长度代号。当为中等旋合长度“N”时，省略不注。

4）旋向代号。当旋向为右旋“RH”时，省略不标注。

在图样中，普通螺纹的标记应标注在螺纹大径的尺寸处，而螺纹长度应单独另行标注，见图9-14a、b。



a) b) c) d)

图9-14 螺纹标记的标注

a）普通外螺纹 b）普通内螺纹 c）圆柱管螺纹 d）梯形螺纹

2. 55°非密封管螺纹的标记

55°非密封管螺纹的标记由螺纹特征代号、尺寸代号和公差带代号组成。螺纹特征代号用字母G表示；螺纹尺寸代号按附录4的第一栏标记；螺纹公差等级代号对外螺纹分A、B两级标记，如G2A、G2B等，对内螺纹则不标记（因为只有一种公差带），如G2。当螺纹为左旋时，在公差带代号后加注“LH”，如G2-LH、G2A-LH等；表示螺纹副时，只标注外螺纹的标记代号。

需要注意：55°非密封管螺纹标记中的尺寸代号，仅仅是螺纹规格的代号，它不表示螺纹的大径或其他尺寸，但可根据尺寸代号由附录4中查得螺纹的大径和其他尺寸。因此在图样上，其标记不应注在大径的尺寸处，而应注在由螺纹大径引出的指引线上，见图9-14c。

3. 梯形螺纹的标记

梯形螺纹标记的内容和形式为

梯形螺纹代号-公差带代号-旋合长度代号

1）梯形螺纹代号由螺纹种类代号、尺寸规格和旋向组成。梯形螺纹用“Tr”表示。单线螺纹的尺寸规格用“公称直径×螺距”表示。多线螺纹用“公称直径×导程（P螺距）”表示。当螺纹为左旋时，需在尺寸规格之后加注“LH”，右旋不注出。如单线右旋螺纹：Tr40×7，双线左旋螺纹：Tr40×14（P7）LH。

2）梯形螺纹的公差带代号只标注中径公差带，如Tr40×7-7e、Tr40×7LH-7e。

3）梯形螺纹的旋合长度分为N和L两组，当旋合长度为N组时，省略不标注；当旋合长度为L组时，应标出组别代号L，如Tr40×14（P7）-8e-L。

梯形螺纹副的公差带要分别注出内、外螺纹的公差带代号，前面的是内螺纹公差带代号，后面是外螺纹公差带代号，中间用斜线分开，如Tr40×7-7H/7e。

在图样中，梯形螺纹与普通螺纹一样，将螺纹标记标注在螺纹大径的尺寸处，见图9-14d。

六、螺纹的加工方法和工艺结构

螺纹最常见的加工方法是在车床上车削。图 9-15 所示为车削外螺纹时的情况（车削内螺纹与之相似）：工件由装在车床主轴上的自定心卡盘夹持，并随车床主轴一起作等速旋转运动，而夹持在刀架上的与被车削螺纹槽形一致的车刀沿工件轴线方向作等速直线运动，并满足工件每转一周，车刀移动一个螺距（或导程）的要求，便加工出螺纹。

此外，螺纹的加工方法还有用丝锥攻螺纹（见图 9-17）、用板牙套螺纹、用搓丝板搓螺纹以及滚压螺纹和铣削螺纹等。

加工螺纹时常见的工艺结构如下：

1. 倒角

在加工外螺纹时，需先按螺纹大径加工出杆件，并在杆端加工出一个小圆锥面，见图 9-16a，然后再加工出外螺纹，见图 9-16b；加工内螺纹时，需先按螺纹小径在机件上加工出孔，并在孔口处也加工出一个小圆锥面，见图 9-16c，然后再加工出内螺纹，见图 9-16d。这两种小圆锥面均称为螺纹的倒角，其主要作用是便于螺纹的加工和螺纹副的旋合。外螺纹的倒角一般为 45°，其尺寸标注如 *C*2（*C* 为 45°倒角符号，2 为轴向长度尺寸），内螺纹的倒角一般为 120°。

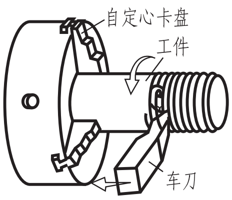


图 9-15　车削（外）螺纹

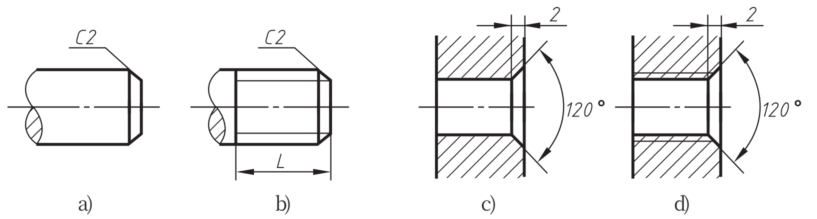


图 9-16　螺纹的倒角

a）外倒角　b）加工出外螺纹　c）内倒角　d）加工出内螺纹

2. 不穿通螺孔

在机件上加工不穿通螺孔时，一般用麻花钻先钻出一个光孔（称为底孔）。由于钻头的钻尖角近似为 120°，所以加工出的孔底圆锥面的圆锥角也为 120°，但在图样上不必标注该角度和孔底深度，且孔底部分也不包括在孔深尺寸 *H* 之内，见图 9-17a；然后用丝锥攻螺纹，攻螺纹深度 *h* 应略小于孔深尺寸 *H*，见图 9-17b。

3. 螺纹收尾、肩距和退刀槽（GB/T 3—1997）

车削加工螺纹达到要求的长度 *L* 时，见图 9-18a，需要将刀具退离工件，称为退刀。由于退刀，螺纹末端形成了沟槽渐浅部分 *l*。这部分向光滑表面过渡的牙底不完整的螺纹（为无效螺纹）称为螺尾。

在车削带台肩的外螺纹时，为了使退刀时车刀不致与工件的台肩面相碰，退刀位置与台肩必须保持一定的距离 *a*，称为肩距，见图 9-18a。

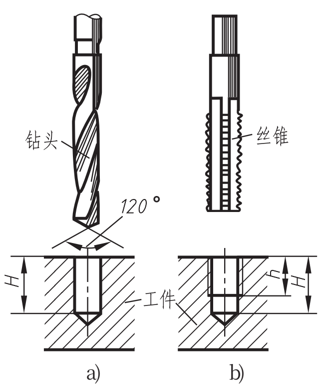


图 9-17　不穿通螺孔

a）钻孔　b）攻螺纹

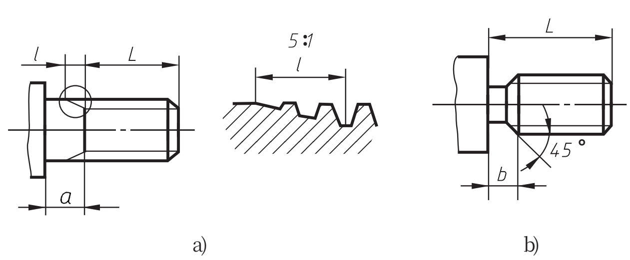


图 9-18　螺纹的收尾、肩距和退刀槽

a）螺尾和肩距　b）退刀槽

由于螺杆上有了螺尾和肩距，使得与之旋合的螺母（带内螺纹）只能拧入到有效螺纹 L 处。当需要将螺母一直拧到台肩面处时，可事先在肩距 a 处加工出用于退刀的槽，称为螺纹退刀槽，见图 9-18b。

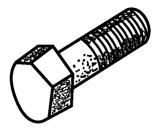
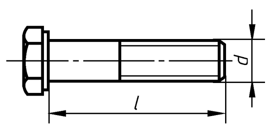
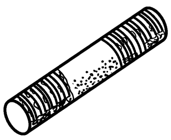
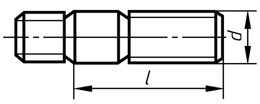
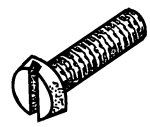
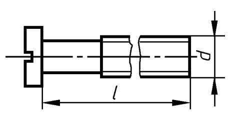
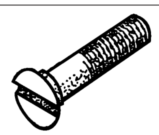
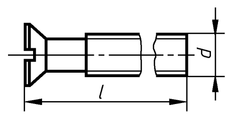
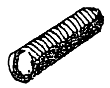
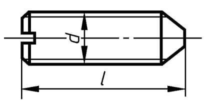
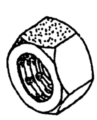
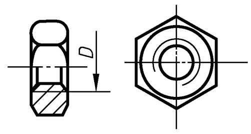
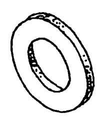
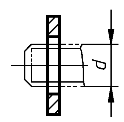
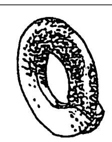
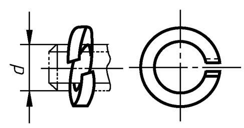
第二节　螺纹紧固件

螺纹紧固件的种类很多，常用的有螺栓、螺柱、螺钉、垫圈和螺母等，见表 9-1。它们都是标准件，一般均由专业化工厂进行大批量生产和供应，需要时可按它们的规定标记直接进行采购而不必自行生产，所以一般不必画出它们的零件图。设计者在设计机器时，只要在装配图上画出这些标准件，并在明细栏中注出它们的规定标记即可。国家标准 GB/T 1237—2000《紧固件标记方法》中，规定的螺纹紧固件标记的简化形式为

名称　标准编号　规格

常用螺纹紧固件及其标记示例见表 9-1。

表 9-1　螺纹紧固件及其标记示例

种类	轴测图	结构形式和规格尺寸	标记示例	说　明
六角头螺栓			螺栓　GB/T 5782—2000[①] M12 × 80	螺纹规格 d = M12，l = 80mm（当螺杆上为全螺纹时，应选取国家标准编号为 GB/T 5783—2000）
螺柱			螺柱　GB/T 897—1988 AM10 × 50	两端螺纹规格均为 d = M10，l = 50mm，按 A 型制造（若为 B 型，则省去标记“B”）
开槽盘头螺钉			螺钉　GB/T 67—2008 M5 × 45	螺纹规格 d = M5，公称长度 l = 45mm，性能等级为 4.8 级，不经表面处理的 A 级开槽盘头螺钉
开槽沉头螺钉			螺钉　GB/T 68—2000 M5 × 45	螺纹规格 d = M5，l = 45mm（l 值在 40mm 以内时为全螺纹）
开槽锥端紧定螺钉			螺钉　GB/T 71—1985 M5 × 20	螺纹规格 d = M5，l = 20mm
1 型六角螺母			螺母　GB/T 6170—2000 M8	螺纹规格 D = M8 的 1 型六角螺母
垫圈			垫圈　GB/T 97.1—2002　8	标准系列、公称规格 8mm、由钢制造的硬度等级为 200HV 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的平垫圈
弹簧垫圈			垫圈　GB/T　93—1987　16	规格 16mm、材料为 65Mn、表面氧化的标准型弹簧垫圈

① 标记示例中，标准年号可省略，省略年号的标准应以现行标准为准。如螺栓　GB/T 5782　M12 × 80。

当需要画出螺纹紧固件时，可采用以下两种画法之一：

（1）查表画法　根据给出的紧固件名称、国家标准编号和规格，即紧固件的标记，通过查表获得它的结构形式和全部结构尺寸，并以此进行画图。

（2）比例画法　根据紧固件的标记得到公称直径和公称长度后，其他结构尺寸均按公称直径 d 的一定比例由计算得到，并以此进行画图。具体的比例关系见第三节。

实质上，查表画法是按查表所得的实际尺寸来画图的一种精确画法；而比例画法则是按一定比例计算所得的值来画图的一种近似画法。

第三节　螺纹紧固件的连接形式及其画法

螺纹紧固件的作用是将两个（或两个以上）的零件紧固在一起，构成可拆连接。常见的连接形式有螺栓连接、螺柱连接和螺钉连接三种，可根据被紧固零件的结构尺寸、连接的受力大小和具体的使用要求来选择。

在绘制螺纹紧固件连接时，除应按照上述螺纹、螺纹副以及螺纹紧固件的规定外，还应遵循有关装配图画法（详见第十一章）的下列规定：

1）两零件相接触的表面应画成一条线，不接触的表面应画两条线，以表示它们的空隙。

2）相互邻接的两零件的剖面线，必须以不同的方向或以不同的间隔画出。而同一零件的各个剖面区域其剖面线画法应相同：同方向、同间隔。

3）当剖切平面通过螺纹紧固件的轴线剖切时，则它们均按不剖绘制。

4）螺纹紧固件连接可以采用规定的简化画法。

下面将常见的三种连接形式的具体画法和注意事项分别介绍如下。

一、螺栓连接

螺栓连接通常由螺栓 1、垫圈 2 和螺母 3 三种零件构成，见图 9-19a。这种连接只需在两被连接件上钻出通孔，然后从孔中穿入螺栓，再套上垫圈，拧紧螺母即实现了连接，见图 9-19b。这种连接加工简单，装拆方便，因而应用很广，主要适用于两零件被连接处厚度不大、而受力较大，且需经常装拆的场合。

选定螺栓连接后，还需确定如下内容：

1）根据使用要求，选择螺栓的结构形式，即确定国家标准编号。

2）根据强度要求或结构要求确定螺栓的公称直径（螺纹规格）d。

3）根据下式计算螺栓的公称长度 l，即

$$l \geqslant \delta_1 + \delta_2 + h + m + a \tag{9-2}$$

式中　δ_1、δ_2——两被连接件的厚度；

h——垫圈厚度；

m——螺母厚度；

a——螺栓头部超出螺母的长度，一般取 $a=(0.2\sim0.3)d$，见图 9-19c。

计算 l 所得结果必须标准化，即取为螺栓的标准公称长度，见附录 6。

4）选定垫圈和螺母的结构形式和规格。因它们与螺栓配套使用，所以其规格应与螺栓规格相同。

至此，可得出螺栓、垫圈和螺母的规定标记，即可按比例画法或查表画法画出螺栓连接的装配图，见图 9-19c。

画螺栓连接时的注意事项如下：

1）为了装配方便，被连接件上的通孔直径 d_h 应稍大于螺栓的公称直径 d，其标准值可查附录 16。因此该处应画成两条线。对于两被连接件接触面的投影线，其可见部分的粗实线应画到螺栓的大径线

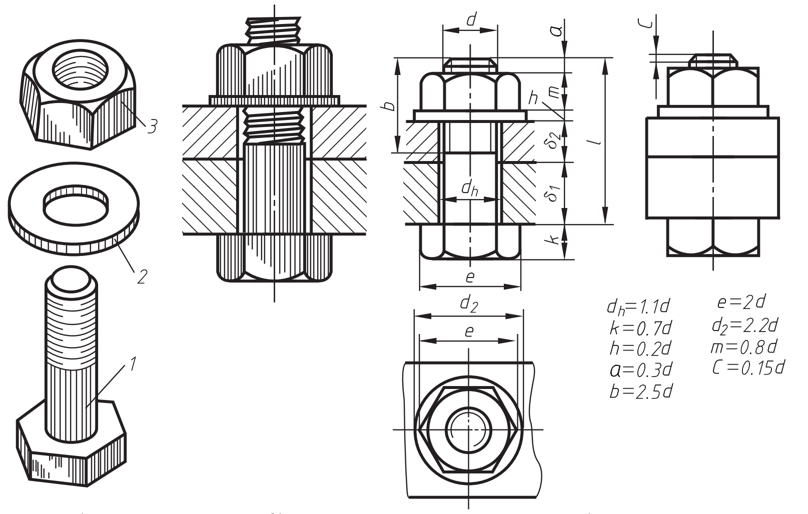


图9-19　螺栓连接

a）连接组成件　b）连接示意图　c）连接装配图

1—螺栓　2—垫圈　3—螺母

处，不可见部分的虚线省略不画。

2）螺栓连接装配图的主视图，一般画成通过这些紧固件轴线剖切的全剖视图（此时，紧固件按不剖绘制），而俯、左两个视图一般画成外形图，有时也可省略不画。

3）在视图中凡被遮挡的不可见螺纹均省略其虚线不画，而可见螺纹部分必须按螺纹的规定画法正确画出，不能漏画。

4）螺栓六角头部的画法（六角螺母的画法与之相同）。①主、俯、左三视图之间应符合投影关系；②六角头部的倒角圆锥面与六个侧棱面形成的截交线可用圆弧近似代替，并采用比例画法，见图9-20：在主视图中，取 $R=1.5d$，r 由作图确定；在左视图中，取 $R_1=d$；在俯视图中，倒角圆内切于正六边形。

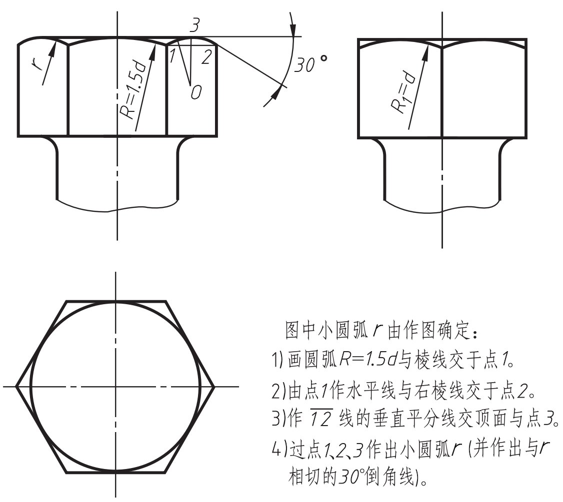


图9-20　螺栓六角头部的画法

二、螺柱连接

当被连接的机座零件的厚度太大，无法加工出通孔时，或者受被连接零件的结构限制而无法安装螺栓时，可采用螺柱连接。这种连接由螺柱1、垫圈2和螺母3构成，见图9-21a。被连接的机座零件上加工出不穿通螺孔，另一被连接件上加工出通孔，而螺柱的两头均制有螺纹。连接时，将螺柱的旋入端（一般为螺纹长度较短的一端）全部旋入机座零件的螺孔中，再套上另一被连接件，然后放上垫圈，拧紧螺母，即实现了连接，见图9-21b。

螺柱的规格：螺纹大径 d 由连接的强度要求或结构要求确定；螺柱的公称长度 l 则由下式计算，即

$$l \geqslant \delta + h + m + a \tag{9-3}$$

式中　δ、h、m、a——带通孔的被连接件的厚度、垫圈厚度、螺母厚度和螺柱头部超出螺母的长度，一般取 $a=(0.2\sim0.3)d$，见图9-21c。

计算所得结果必须取为相近的标准公称长度，见附录7。

旋入端的螺纹长度，即旋入深度 b_m 由带螺孔的机座零件的材料决定，有四种不同的规格，螺柱相应有四种国家标准编号：

GB/T 897—1988　$b_m = 1d$　用于钢和青铜

GB/T 898—1988　$b_m = 1.25d$　用于铸铁

GB/T 899—1988　$b_m = 1.5d$　用于铸铁和铝合金

GB/T 900—1988　$b_m = 2d$　用于铝合金

综上所述，可确定螺柱的规格，再根据配套要求，同时也就确定了垫圈和螺母的规格，于是可用比例画法（或查表画法）画出螺柱连接的装配图，见图 9-21c。

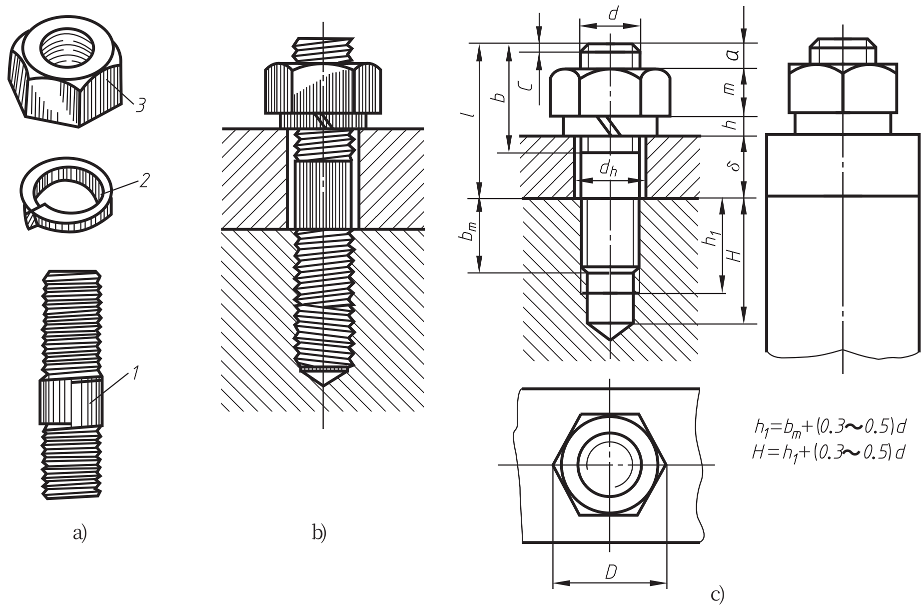


图 9-21　螺柱连接

a）连接组成件　b）连接示意图　c）连接装配图

1—螺柱　2—垫圈　3—螺母

画螺柱连接时应注意以下事项：

1）因为螺柱旋入端的螺纹按规定必须全部旋入到被连接的机座零件的螺孔中，所以其螺纹终止线应与两被连接件接触面的投影线平齐，故两者成为一直线。

2）机座零件上的螺孔深度 h_1 应稍大于螺柱的旋入深度 b_m，一般可取 $h_1 = b_m + (0.3 \sim 0.5)d$，而钻孔深度 H 又应大于螺孔深度 h_1，一般可取 $H = h_1 + (0.3 \sim 0.5)d$。

3）螺柱的旋入端必须按内、外螺纹的连接画法正确画出；拧螺母端的画法则与螺栓连接时相应部分的画法相同。为了防止连接松动，这里采用了弹簧垫圈。

其他注意事项均与螺栓连接时相同，这里不再赘述。

三、螺钉连接

螺钉按用途不同可分为连接螺钉和紧定螺钉两类。前者用于连接零件，后者用于固定零件。

1. 连接螺钉

连接螺钉主要用于连接不经常拆卸，并且受力不大的场合。它是一种只需螺钉（有的也可加垫圈）而不用螺母的连接，因而结构最简单。连接螺钉由头部和杆身两部分组成：其头部有多种不同的结构形式，相应有不同的国家标准编号，见表 9-1；杆身上刻有部分螺纹或全部螺纹（螺钉公称长度较小时）。被连接件之一加工有通孔，另一被连接件加工有螺孔。连接时，将螺钉穿过通孔，并用

螺钉旋具插入螺钉头部的一字槽或十字槽中，再加以拧动，则依靠杆身上的螺纹即可旋入到螺孔中，并依赖其头部压紧被连接件而实现两者的连接，见图 9-22a。由于螺钉旋具的拧紧力有限，所以螺钉的规格一般不大于 M10。

设计螺钉连接时，通常首先根据使用要求确定螺钉的结构形式，即确定了国家标准编号，再根据结构要求确定螺钉的公称直径 d（因受力不大，一般不进行强度计算），并由下式确定螺钉的公称长度 l，即

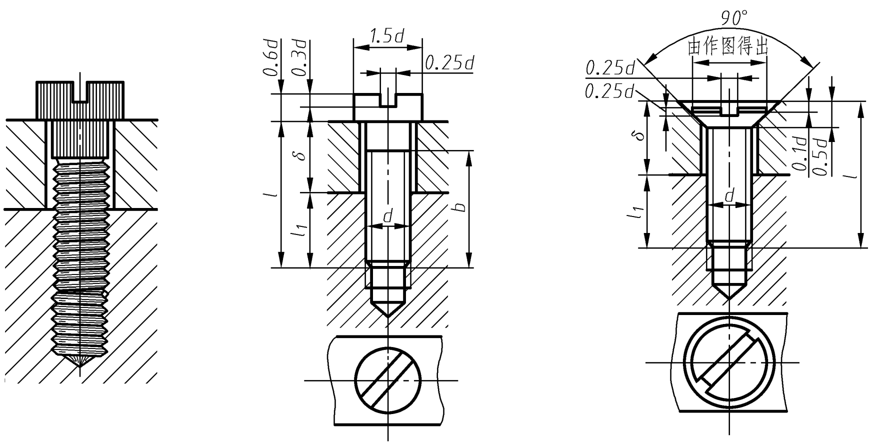
$$l \geqslant \delta + l_1 \tag{9-4}$$

式中　δ——带通孔零件的厚度；

l_1——螺钉的旋入深度，由带螺孔零件的材料决定，并与确定螺柱旋入端长度 b_m 的方法相同。

计算所得结果应取相近的标准值，见附录 8、附录 9。

根据上面选定的结构形式和具体规格即可按比例画法（或查表画法）画出螺钉连接的装配图，见图 9-22b、c。



a)　b)　c)

图 9-22　连接螺钉连接

a）连接示意图　b）开槽圆柱头螺钉连接　c）开槽沉头螺钉连接

画螺钉连接时应注意以下事项：

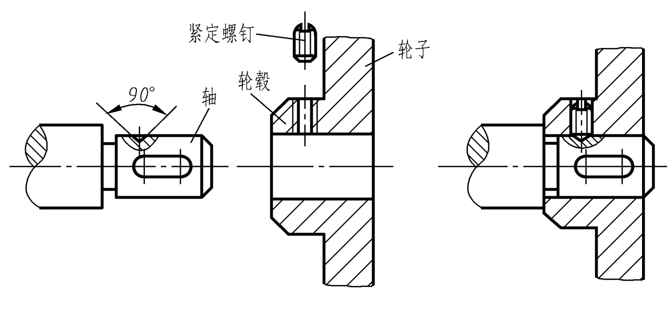
1）螺钉头部的一字槽在通过螺钉轴线剖切的剖视图上应按垂直于投影面的位置画出，而在端视图上应按倾斜 45°画出，见图 9-22。

2）螺钉杆身上的螺纹长度 b 应大于旋入深度 l_1，因此螺钉的螺纹终止线应高于两被连接零件接触面的投影线，见图 9-22b。采用全螺纹时见图 9-22c。

2. 紧定螺钉

紧定螺钉多用于轮子与轴之间的固定。通常在轴上加工出锥坑，见图 9-23a；在轮子的轮毂上加工出螺孔，见图 9-23b。连接时，将轮子套装于轴上，再将螺钉拧入轮子轮毂上的螺孔中，使螺钉的锥形端部对准并紧压在轴上的锥坑内，从而将轮子固定在轴上，见图 9-23c。

紧定螺钉的头部有开槽、内六角等形式，端部则有平端、圆柱端、锥端和凹端等多种结构形式，相应有多种国家标准编号，可根据具体的使用要求来选用。



a)　b)　c)

图 9-23　紧定螺钉连接

a）轴上加工出锥坑　b）轮毂上加工出螺孔　c）紧定螺钉装配图

根据国家标准规定，螺纹紧固件连接可

采用如下简化画法。

1）螺纹紧固件的工艺结构，如倒角、退刀槽、缩颈、凸肩等均可省略不画，见图 9-24。图 9-24 中的螺母和螺栓的头部均省略倒角而画成六棱柱。

2）在螺栓、螺柱、螺钉的杆部，其螺纹端的倒角均可省略不画。不穿通螺孔可不画出钻孔深度，仅按有效螺纹部分的深度画出，见图 9-24b、c、d。

3）螺钉旋具槽、弹簧垫圈开口处等均可用涂黑表示，见图 9-24a、c。

4）内六角螺钉的内六角部分在主视图上的虚线投影可以省略不画，见图 9-24d。

5）图 9-24c、d 中的螺钉与被连接件的上顶面允许平齐，画成一条直线。

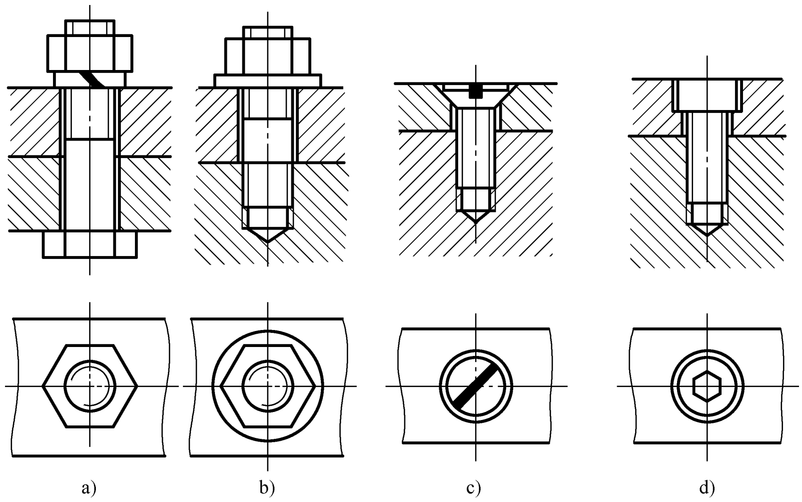


图 9-24　螺纹紧固件连接的简化画法

a）螺栓连接　b）螺柱连接　c）开槽沉头螺钉连接　d）内六角圆柱头螺钉连接

第四节　键　连　接

键连接通常用于轴和轮子（齿轮、带轮、链轮、凸轮等）之间的连接。其连接方法是首先在轴上和轮子孔壁上分别加工出键槽，见图 9-25a、b；并将键的一部分嵌入轴上的键槽内，见图 9-25c；再将轮子上的键槽对准轴上露出部分的键套到轴上，这就构成了键连接，见图 9-25d。这样轴和轮子就可以通过键来传递圆周运动和转矩。由于键连接结构简单，装拆方便，成本低廉，因此在机器中得到广泛的应用。

根据具体的使用要求不同，相应有多种类型的键，如平键、半圆键和楔键等，它们都是标准件。本节只介绍应用最多的普通平键及其连接。普通平键有三种结构形式：圆头普通平键（A 型）、平头普通平键（B 型）和单圆头普通平键（C 型），见图 9-26。

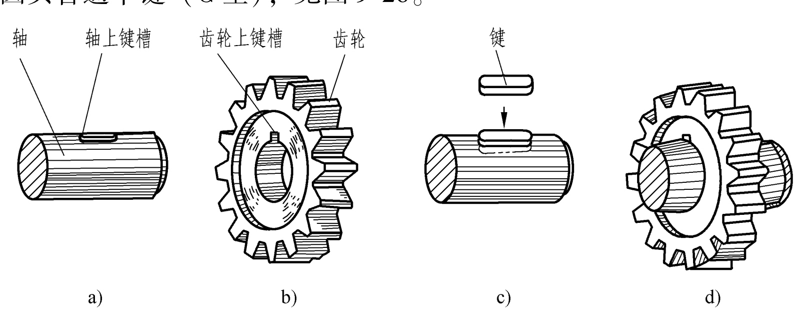
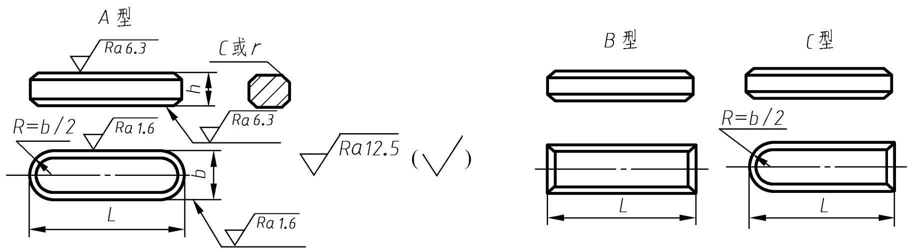


图 9-25　键连接

a）在轴上加工出键槽　b）在轮子孔壁上加工出键槽　c）将键装入轴上键槽　d）装上轮子



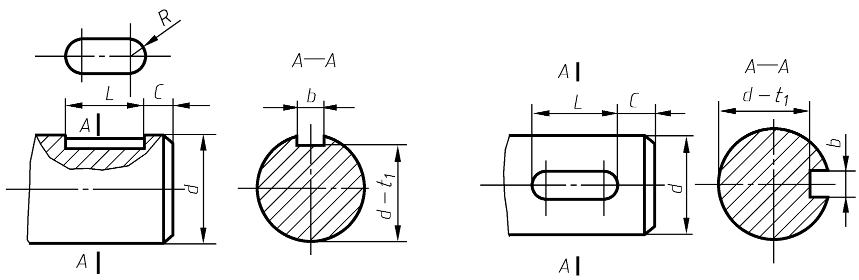
a)　　b)　　c)

图 9-26　普通平键的结构形式

a）圆头普通平键　b）平头普通平键　c）单圆头普通平键

普通平键的公称尺寸 $b \times h$（键宽 × 键高）可根据轴的直径 d 由附录 13 中查到（这只是作者推荐，并不是国家标准 GB/T 1096—2003《普通型　平键》的规定，故仅供参考）；键的长度 L 一般应比相应的轮毂长度短 5 ~ 10mm，并取相近的标准值。

图 9-27a、b 所示为轴上键槽常用的两种表示法和尺寸注法，图 9-28 所示为轮子上键槽的常用表示法和尺寸注法。两图中的 t_1 和 t_2 可查附录 13。



a)　　b)

图 9-27　轴上键槽的表示法和尺寸注法

a）键槽位于轴的上方时　b）键槽位于轴的前方时

图 9-29 所示为普通平键连接的装配图画法。其中主视图为通过轴的轴线和键的纵向对称平面剖切后画出的，根据国家标准规定，此时轴和键均按不剖绘制。为了表示键在轴上的装配情况，轴采用了局部剖视。左视图为 A—A 全剖视，在图中键的两侧面和下底面分别与轮子槽两侧面、轴槽两侧面和轴槽底面相接触，应画成一条线；而键的上顶面与轮子槽的底面间应留有空隙，故画成两条线。

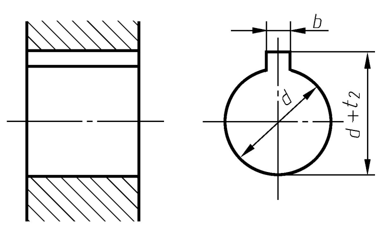


图 9-28　轮子上键槽的表示法和尺寸注法

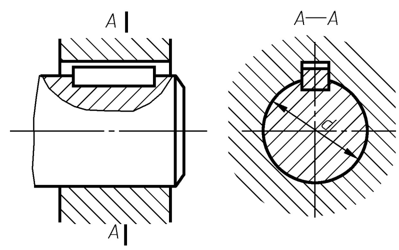


图 9-29　普通平键的连接画法

在装配图的明细栏内（见第十一章）应注明键的标记，例如 B 型平键，宽 b = 16mm，高 h = 10mm，长 L = 100mm，其规定标记为：GB/T 1096　键 B16 × 10 × 100。A 型平键则省略“A”字。

第五节　销　连　接

销的种类较多，本节只介绍应用最多的圆柱销和圆锥销，它们都是标准件。

圆柱销的结构形式见图 9-30。它们的规定标记形式为：销　GB/T 119.1　$d \times l$（标记示例见附录 14）。

圆锥销的结构形式有 A 型（磨削）和 B 型（切削或冷镦）两种，见图 9-31。它们的规定标记形式为：销 GB/T 117　$d \times l$（标记示例见附录 15）。

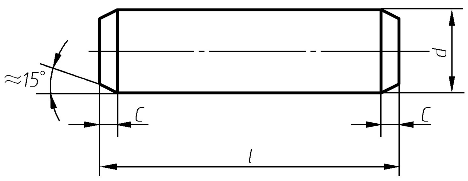


图 9-30　圆柱销

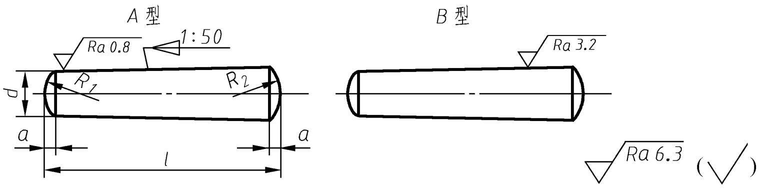


图 9-31　圆锥销

圆柱销和圆锥销主要有如下三种不同的用途：

1）用于零件间的连接，但只能承受不大的载荷，多用于轻载和不很重要的连接，此时称为连接销。

2）用于两零件间的定位，即固定两零件的相对位置，此时称为定位销。定位销一般成对使用，并安放在两零件接合面的对角处，以加大两销之间的距离，增加定位的正确性。

3）用作安全装置中的过载剪断元件，从而对设备起安全保护作用，此时称为安全销。

但不管它们作为何种用途，其装配图画法则相同，见图 9-32。由于销与销孔表面直接接触，所以两者接合面处应画一条线。在明细栏内应注明销的规定标记。

与销装配的两零件上的销孔应同时一起一次钻孔和铰孔，工艺上称为“配作”，并应在各自的零件图上分别加以注明，如“锥销孔 $\phi4$ 与 × × 零件配作”。

由于圆柱销经多次装拆后，与销孔的配合精度将受到影响，而圆锥销有 1∶50 的锥度，可以弥补装拆后产生的间隙，且装拆也较圆柱销方便，因此对于需多次装拆的场合，宜选用圆锥销。

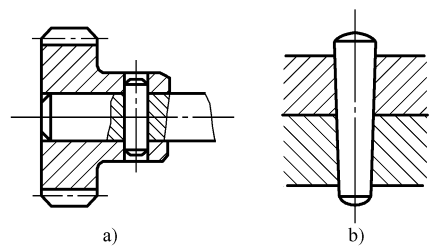


图 9-32　圆柱销与圆锥销的装配画法
a）圆柱销　b）圆锥销

第六节　弹　　簧

一、概述

弹簧是利用材料的弹性和结构特点，通过变形和储存能量来进行工作的一种机械零（部）件。它主要用于缓冲和减振、控制运动、储存和输出能量以及测量力和力矩等场合，是一种应用十分广泛的常用件。

弹簧的种类很多，其中应用最多的是圆柱螺旋弹簧，它又可以分为压缩弹簧、拉伸弹簧和扭转弹簧等，见图 9-33。



图 9-33　圆柱螺旋弹簧
a）压缩弹簧　b）拉伸弹簧　c）扭转弹簧

二、圆柱螺旋压缩弹簧与拉伸弹簧的几何参数、代号及其尺寸计算公式

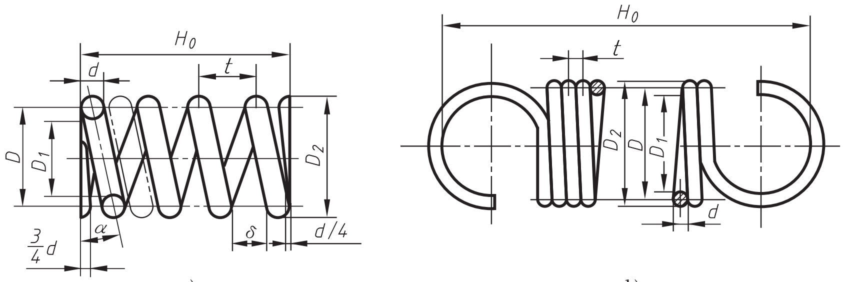
圆柱螺旋压缩弹簧和拉伸弹簧的几何参数、代号及其尺寸计算公式见图 9-34 和表 9-2。

三、圆柱螺旋弹簧的表示法

1. 圆柱螺旋弹簧的画法规定

圆柱螺旋弹簧的真实投影比较复杂，为了画图方便，国家标准 GB/T 4459.4—2003《机械制图　弹簧表示法》中作了如下规定：

1）在平行于螺旋弹簧轴线的投影面的视图中，其各圈的轮廓应画成直线。



a)　　　　b)

图 9-34　圆柱螺旋压缩弹簧和拉伸弹簧的几何参数

a）压缩弹簧　b）拉伸弹簧

表 9-2　圆柱螺旋弹簧的几何参数、代号和尺寸计算公式

参数名称	代号	单位	圆柱螺旋压缩弹簧(GB/T 2089—2009)	圆柱螺旋拉伸弹簧(GB/T 2088—2009)	备　注
材料直径	d	mm	弹簧材料的截面直径由强度计算确定		标准
弹簧外径	D_2	mm			
弹簧内径	D_1	mm			
弹簧中径	D	mm	弹簧内径和外径的平均值，$D=\frac{1}{2}(D_1+D_2)=D_2-d=D_1+d$		标准
有效圈数	n	圈	计算弹簧刚度的圈数		$n\geqslant 2$ 且标准
支承圈数	n_2	圈	弹簧端部用于支承或固定的圈数		
总圈数	n_1	圈	沿螺旋轴线两端间的螺旋圈数，$n_1=n+n_2$		
节距	t	mm	螺旋弹簧两相邻有效圈截面中心线间的轴向距离		
间距	δ	mm	螺旋弹簧两相邻有效圈的轴向间距		
			$\delta=t-d$	$\delta=t-d=0(\because t=d)$	
自由高度（自由长度）	H_0	mm	弹簧无负荷时的高度（长度）		标准
			$H_0=nt+(n_2-0.5)d$（两端圈磨平）	$H_0=(n+1.5)d+2D_1$	
螺旋升角	α	(°)	$\alpha=\arctan\frac{t}{\pi D}$		
展开长度	L	mm	$L=\pi D n_1/\cos\alpha\approx\pi D n_1$	$L\approx\pi Dn+$钩部展开长度	

注：1. 材料直径 d、弹簧中径 D、有效圈数 n 以及自由高度 H_0 等见国家标准 GB/T 1358—2009《圆柱螺旋弹簧尺寸系列》。

2. 参数名称及代号见国家标准 GB/T 1805—2001《弹簧术语》。

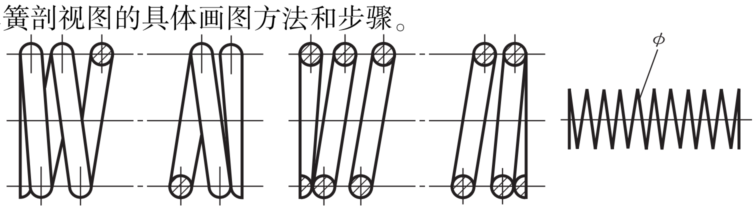
2）螺旋弹簧均可画成右旋，对必须保证的旋向要求应在“技术要求”中注明。

3）螺旋压缩弹簧，如要求两端圈并紧且磨平时，不论支承圈的圈数是多少和末端贴紧情况如何，均可按图 9-35 的形式绘制。

4）有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧中间部分可以省略。圆柱螺旋弹簧中间部分省略后，允许适当缩短图形的长度。

2. 圆柱螺旋弹簧表示法

图 9-35a、b、c 所示分别为圆柱螺旋压缩弹簧的三种表示法：视图、剖视图和示意图。图 9-36 所示为圆柱螺旋压缩弹簧剖视图的具体画图方法和步骤。



a)　　　　b)　　　　c)

图 9-35　圆柱螺旋（压缩）弹簧的三种表示法

a）视图　b）剖视图　c）示意图

当需要画成外形视图时，前三步的画法与上述剖视图的画法相同，第四步按右旋方向作相应圆的外公切线，见图9-35a。

3. 弹簧零件图

图 9-37 所示为圆柱螺旋压缩弹簧的零件图。弹簧零件图上除了画出必要的视图外，一般还应包括如下内容：

1）标注弹簧的参数。弹簧的参数应直接标注在图形上。当直接标注有困难时，可在技术要求中说明。

2）表明弹簧的力学性能。一般用图解的方式表示弹簧的力学性能。圆柱螺旋压缩弹簧和拉伸弹簧的力学性能曲线均画成直线，标注在主视图上方，并用粗实线绘制。

3）当某些弹簧只需给出刚度要求时，允许不画力学性能图，而在“技术要求”中说明刚度要求。

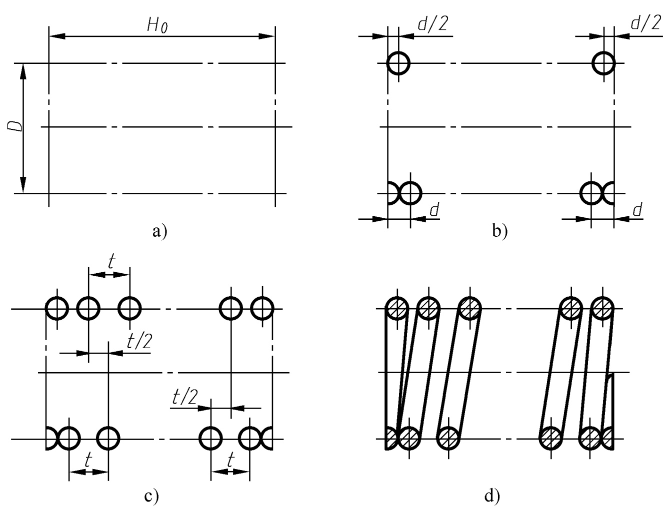


图 9-36　弹簧的画法

a）根据弹簧中径 D 和自由高度 H_0 画出弹簧的中径线和自由高度两端线（有效圈数在四圈以上时，H_0 可适当缩短）　b）根据材料直径 d，画出两端支承圈部分的材料断面图（两端均按并紧、磨平、支承圈为1¼圈绘制）c）根据节距 t，画有效圈部分的材料断面图　d）按右旋方向作相应圆的外公切线，并在剖面区域内画剖面线。最后整理、加深，完成剖视图

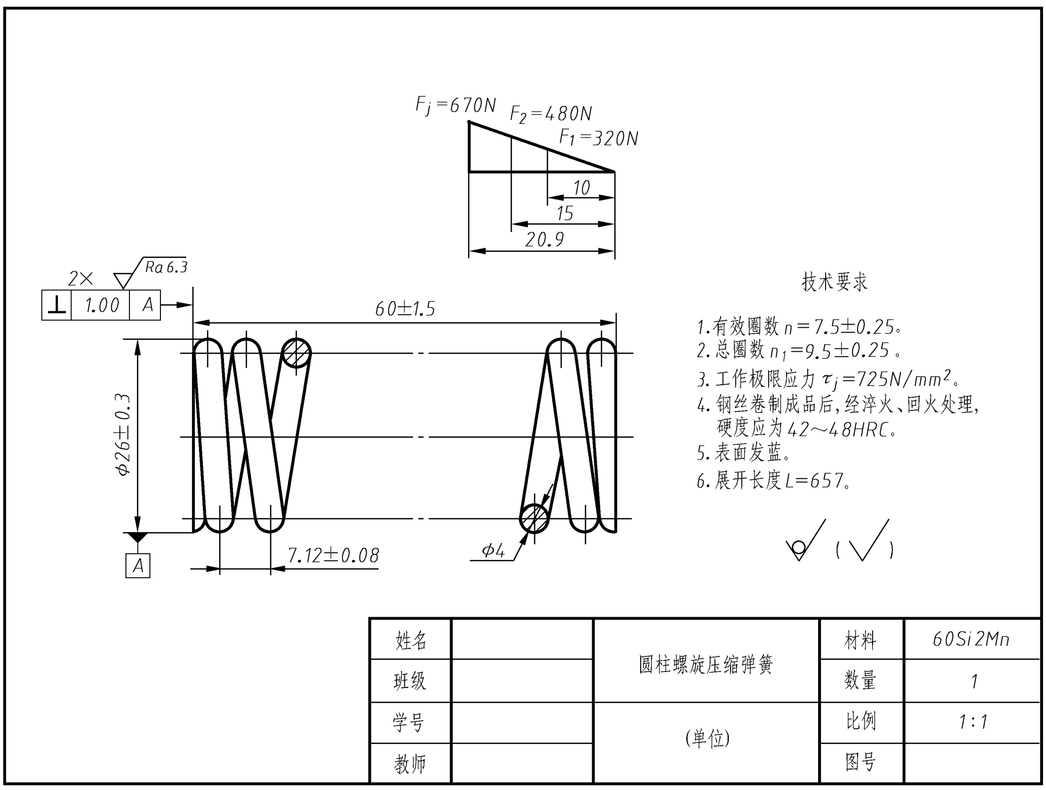


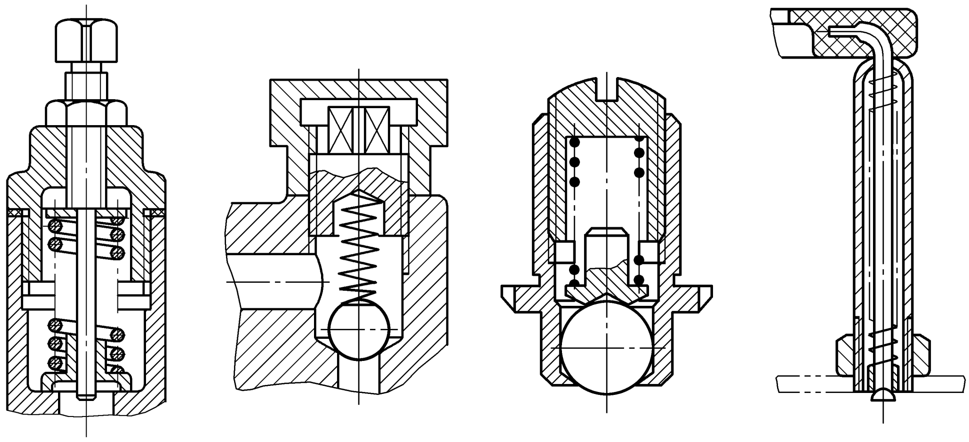
图 9-37　圆柱螺旋压缩弹簧的零件图

4. 装配图中弹簧的画法

1）被弹簧挡住的结构一般不画出，可见部分应从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝断面的中心线画起，见图 9-38a。

2）型材尺寸较小（直径或厚度在图形上等于或小于2mm）的螺旋弹簧（碟形弹簧、片弹簧），允许用示意图表示，见图9-38b。当弹簧被剖切时，也可用涂黑表示，见图9-38c。

3）被剖切弹簧的截面尺寸在图形上等于或小于2mm，并且弹簧内部还有零件，为了便于表达，可用图9-38d所示的示意图形式表示。



a)　b)　c)　d)

图9-38　装配图中弹簧的画法

第七节　齿　　轮

齿轮是机器中最常见的一种重要零件，齿轮传动是机械传动中应用最为广泛的一种传动形式。它主要用来传递两轴间的回转运动。通常按齿轮的形状和两轴间的相对位置可作如下分类：

1）圆柱齿轮传动。用于平行两轴之间的传动，见图9-39a、b。其中图9-39a为直齿圆柱齿轮传动，图9-39b为斜齿圆柱齿轮传动。

2）锥齿轮传动。用于相交两轴（多为垂直相交）之间的传动，见图9-39c。

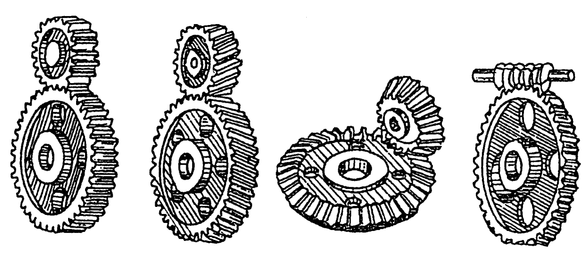
3）蜗杆传动。用于垂直交叉两轴之间的传动，见图9-39d。

本节仅介绍圆柱齿轮的基本知识和画法等。

一、直齿圆柱齿轮的各部分名称及尺寸代号

直齿圆柱齿轮各部分的名称及尺寸代号见图9-40。

（1）齿顶圆　齿轮齿顶所在的圆。其直径（或半径）用 d_a（或 r_a）表示。



a)　b)　c)　d)

图9-39　齿轮传动的分类

a）直齿圆柱齿轮传动　b）斜齿圆柱齿轮传动

c）锥齿轮传动　d）蜗杆传动

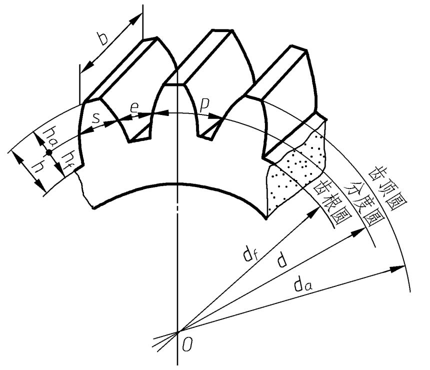


图9-40　直齿圆柱齿轮各部分名称及尺寸代号

（2）齿根圆　齿轮齿槽底所在圆。其直径（或半径）用 d_f（或 r_f）表示。

（3）分度圆　用来分度（分齿）的圆，该圆位于齿厚和槽宽相等的地方。其直径（或半径）用 d（或 r）表示。

（4）齿顶高　齿顶圆与分度圆之间的径向距离，用 h_a 表示。

（5）齿根高　齿根圆与分度圆之间的径向距离，用 h_f 表示。

（6）全齿高　齿顶圆与齿根圆之间的径向距离，用 h 表示。显然有

$$h = h_a + h_f \tag{9-5}$$

（7）齿厚　一个齿的两侧齿廓之间的分度圆弧长，用 s 表示。

（8）槽宽　一个齿槽的两侧齿廓之间的分度圆弧长，用 e 表示。

（9）齿距　相邻两齿的同侧齿廓之间的分度圆弧长，用 p 表示。显然有

$$p = s + e \tag{9-6}$$

（10）齿宽　齿轮轮齿的宽度（沿齿轮轴线方向度量），用 b 表示。

二、直齿圆柱齿轮的基本参数

（1）齿数 z　一个齿轮的轮齿总数。

（2）模数 m　齿距 p 除以圆周率 π 所得的商，单位为 mm。即

$$m = \frac{p}{\pi} \tag{9-7}$$

显然，齿距 p 或齿厚 s 能够反映齿轮轮齿的大小，然而齿距 $p = \frac{d\pi}{z}$是一个含有 π 因子的无理数，而模数 $m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z}$就是一个有理数，因而通常都是用模数来间接反映齿轮轮齿的大小，它成为反映齿轮轮齿强度一个重要的基本参数，齿轮各部分尺寸也都要通过模数来计算。如由 $m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z}$可得

$$d = mz \tag{9-8}$$

为了便于齿轮的设计和制造，模数已经标准化，我国规定的标准模数值见表 9-3。

表 9-3　通用机械和重型机械用圆柱齿轮模数 m（GB/T 1357—2008）　（单位：mm）

1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50

注：1. 本表只列入应优先采用的第一系列模数值。
2. 对于斜齿轮是指法向模数 m_n。

（3）压力角 α　齿廓曲线在分度圆上的一点处的速度方向与曲线在该点处的法线方向（即力的作用线方向）之间所夹的锐角称为分度圆压力角，简称压力角，用 α 表示，见图 9-41。压力角 α 也已标准化，我国规定 $\alpha = 20°$，即规定分度圆为通过齿廓曲线上压力角为 20°的点所作的圆。因此分度圆是具有标准模数和标准压力角的圆。

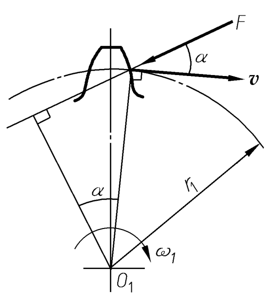


图 9-41　齿轮的压力角 α

（4）齿顶高系数 h_a^*　齿轮的齿顶高通常规定为与模数成一定的比，该比值称为齿顶高系数，用 h_a^* 表示，即 $h_a^* = h_a/m$。我国规定正常齿齿轮的齿顶高系数 $h_a^* = 1$，因此有

$$h_a = h_a^* m = m \tag{9-9}$$

（5）顶隙系数　一对齿轮啮合传动时，为了避免在啮合区内一个齿轮的齿顶与另一个齿轮的齿槽底部发生干涉（顶死）以及为了贮存润滑油，需要在径向留出一定的间隙 c，此间隙称为顶隙。顶隙 c 与模数 m 的比值称为顶隙系数，用 c^* 表示，即 $c^* = \frac{c}{m}$。国标规定正常齿齿轮

的顶隙系数 $c^*=0.25$，因此有

$$c=c^*m=0.25m \tag{9-10}$$

由此可以得到齿轮轮齿的齿根高为

$$h_f=h_a+c=h_a^*m+c^*m=(h_a^*+c^*)m=1.25m \tag{9-11}$$

齿轮轮齿的全齿高为

$$h=h_a+h_f=h_a^*m+(h_a^*+c^*)m=(2h_a^*+c^*)m=2.25m \tag{9-12}$$

综上所述，可以引入标准齿轮的概念，即模数 m、压力角 α、齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^* 均为标准值的齿轮称为标准齿轮。

需要说明的是：①标准直齿圆柱齿轮的理论齿厚 s 与槽宽 e 相等，即 $s=e$；②一对标准直齿圆柱齿轮正确啮合传动的条件是两轮的模数和压力角必须分别相等，即

$$\begin{cases} m_1=m_2=m \\ \alpha_1=\alpha_2=\alpha \end{cases} \tag{9-13}$$

三、标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算

根据上述五个基本参数就可以计算出标准直齿圆柱齿轮各部分的几何尺寸，具体计算公式见表9-4。

表9-4 正常齿外啮合标准直齿圆柱齿轮的尺寸计算公式（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$）

名 称	代 号	计 算 公 式
模数	m	由强度计算或用类比法确定，并取标准值
齿数	z	由运动设计确定
齿顶高	h_a	$h_a=h_a^*m=m$
齿根高	h_f	$h_f=h_a+c=h_a^*+m+c^*m=(h_a^*+c^*)m=1.25m$
全齿高	h	$h=h_a+h_f=h_a^*m+(h_a^*+c^*)m=(2h_a^*+c^*)m=2.25m$
分度圆直径	d	$d=mz$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a=mz+2m=m(z+2)$
齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f=mz-2\times1.25m=m(z-2.5)$
齿距	p	$p=m\pi$
齿厚	s	$s=p/2=m\pi/2$
槽宽	e	$e=p/2=m\pi/2$
中心距	a	$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=\frac{1}{2}m(z_1+z_2)$

一对标准齿轮安装时，若使两轮的分度圆相切，则称为标准安装，标准安装时的中心距 a 相应称为标准中心距，因此有

$$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=\frac{1}{2}m(z_1+z_2) \tag{9-14}$$

四、圆柱齿轮的规定画法

齿轮轮齿的齿廓曲线是渐开线，所以要按真实投影画出齿轮是非常困难的，为此国家标准GB/T 4459.2—2003《机械制图　齿轮表示法》中规定了机械图样中齿轮的画法。

1. 单个圆柱齿轮的画法（见图9-42）

1）齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制。

2）分度圆和分度线用点画线绘制。

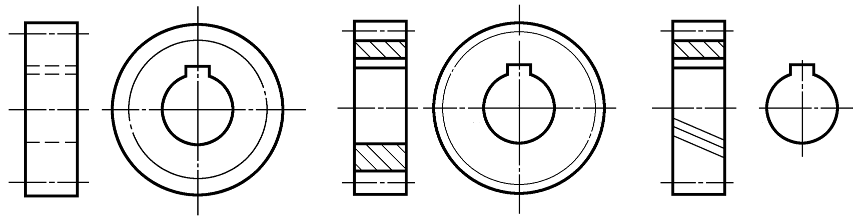
3）齿根圆和齿根线用细实线绘制，也可省略不画。

4）在剖视图中，当剖切平面通过齿轮的轴线时，轮齿一律按不剖绘制。此时齿根线应用粗实线绘制，见图9-42b、c。

5）当需要表示齿线的形状时，可用三条与齿线方向一致的细实线表示，见图 9-42c。直齿则不需表示，见图 9-42a、b。

6）表示齿轮一般用两个视图，见图 9-42a、b，或者用一个视图和一个局部剖图，见图 9-42c。

齿轮轮齿以外的轮毂、轮辐和轮缘等部分的结构仍应按真实投影画出。



a)　b)　c)

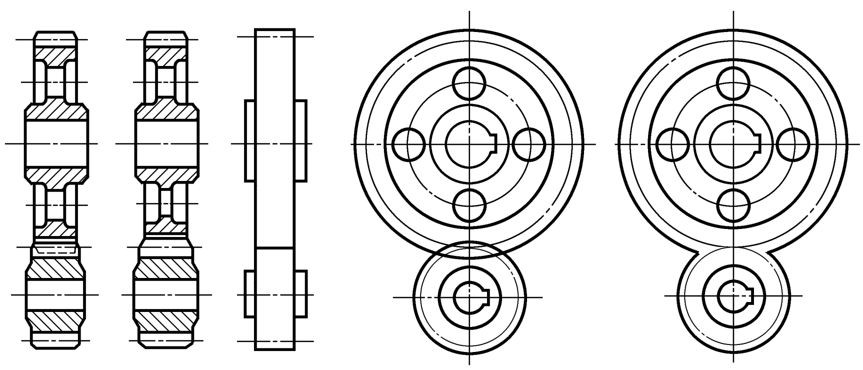
图 9-42　单个圆柱齿轮的画法

2. 一对圆柱齿轮的啮合画法

1）在投影为非圆的视图上，一般画成剖视图（剖切平面通过两啮合齿轮的轴线）。在啮合区两齿轮的分度线重合为一条线，画成点画线；两齿轮的齿根线均画成粗实线；一个齿轮的齿顶线画成粗实线，另一个齿轮的齿顶线及其轮齿被遮挡部分的投影均画成虚线，见图 9-43a。也可省略不画，见图 9-43b。当投影为非圆的视图画成外形视图时，啮合区内只需画出一条分度线，并要改用粗实线表示，见图 9-43c。而在图 9-43a、b、c 中，非啮合区的画法仍与单个齿轮的画法相同。

2）在投影为圆的视图（端视图）中，与单个齿轮的画法相同。只是表示两个齿轮分度圆的点画线圆应画成相切，见图 9-43d、e。同时啮合区内齿顶圆的相交部分的弧线也可以省略不画，见图 9-43e。

需要注意的是一对齿轮啮合时，两轮的分度圆相切，分度线重合，且齿轮的齿顶高为 $1m$，而齿轮的齿根高为 $1.25m$，所以一齿轮的齿顶线（或齿顶圆）与另一齿轮的齿根线（或齿根圆）之间有 $0.25m$ 的顶隙，见图 9-43。



a)　b)　c)　d)　e)

图 9-43　齿轮啮合画法

第八节　滚 动 轴 承

一、概述

轴的支承称为轴承，轴承按照其工作时摩擦性质的不同，可分为滚动轴承和滑动轴承两大类。其中滚动轴承是根据滚动摩擦原理工作的，它具有摩擦因数小，起动灵活，运动性能好，效率高，结构紧凑，能在较广泛的负荷、速度和精度范围内工作等一系列的优点，因而在各种机器中得到广泛的应用。

为了便于制造滚动轴承，降低成本，为了便于机器设计者的选用，缩短设计周期，滚动轴承的类型、结构形式、尺寸以及画法等均已标准化，因此，它是一种标准部件。

二、滚动轴承的构造和工作原理

滚动轴承的种类较多，但其结构大致相同。图9-44所示分别为深沟球轴承、圆柱滚子轴承和推力球轴承的结构。由图可见，它们都是由外圈（或座圈）、内圈（或轴圈）、滚动体和保持架四个部分组成。其中，滚动体的形状常见的有球、圆柱和圆锥等。

通常，滚动轴承的外圈安装在机座孔中固定不动，内圈则装在轴上与轴一起转动，而滚动体则在内、外圈的滚道之间滚动，形成滚动摩擦。

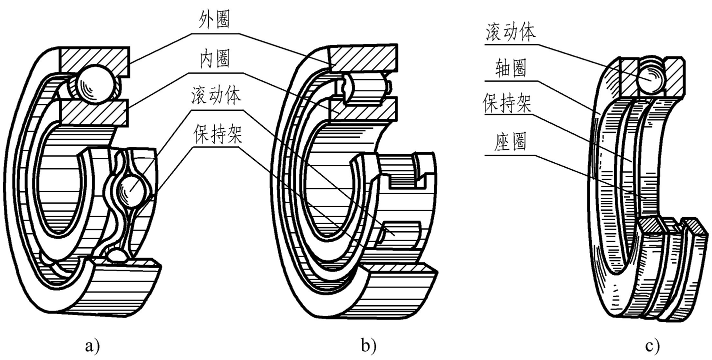


图9-44 滚动轴承的构造
a）深沟球轴承 b）圆柱滚子轴承 c）推力球轴承

三、滚动轴承的分类和代号

滚动轴承的分类方法很多，如按其所能承受的负荷方向的不同，可分为向心轴承（主要承受径向负荷的轴承）和推力轴承（主要承受轴向负荷的轴承）；按其滚动体不同可分为球轴承（滚动体为球的轴承）和滚子轴承（滚动体为圆柱、圆锥等滚子的轴承）而最常用的实用分类见表9-5。由于滚动轴承的形式、结构、规格较多，为方便起见，常用代号来标记。滚动轴承的代号由基本代号、前置代号和后置代号三部分组成。现仅对最常见的基本代号作简要说明。基本代号主要由轴承类型代号、尺寸系列（宽度或高度系列和直径系列）代号和内径代号组成。轴承类型代号用数字或字母表示，见表9-5。尺寸系列代号一般由两位数字表示（也有的用一位数字）。内径代号对内径为20～480mm的轴承，用公称内径除以5的商数表示（如商数为个位数，需在商数左边加0）。例如，GB/T 297—1994 滚动轴承32310中：3表示圆锥滚子轴承；23表示宽度系列为2、直径系列为3（尺寸系列为23）；10表示轴承内径为50mm。又如，GB/T 276—1994 滚动轴承6405中：6表示深沟球轴承；4表示宽度系列为0（省略）、直径系列为4（尺寸系列为04）；05表示轴承内径为25mm。

表9-5 轴承的分类代号

代号	轴承类型	代号	轴承类型
0	双列角接触球轴承	5	推力球轴承
1	调心球轴承	6	深沟球轴承
2	调心滚子轴承和推力调心滚子轴承	7	角接触球轴承
3	圆锥滚子轴承	8	推力圆柱滚子轴承
4	双列深沟球轴承	N	圆柱滚子轴承

滚动轴承的代号方法比较复杂，且不属于本课程内容的范畴，其详细介绍应由机械设计等课程来承担。需要时，也可参阅国家标准 GB/T 272—1993《滚动轴承 代号方法》。

四、滚动轴承的画法

滚动轴承是由多种零件装配而成的标准部件，并由专业轴承厂进行生产和供应。因此，在一般机械设计时，不必画出其组成零件的零件图，而只需在装配图中画出整个轴承部件。为了简化作图，国家标准 GB/T 4459.7—1998《机械制图 滚动轴承表示法》中，规定了在装配图中不需要确切地表示其形状和结构的标准滚动轴承的画法：通用画法、特征画法（统称简化画法）和规定画法。下面分别予以介绍。

1. 基本规定

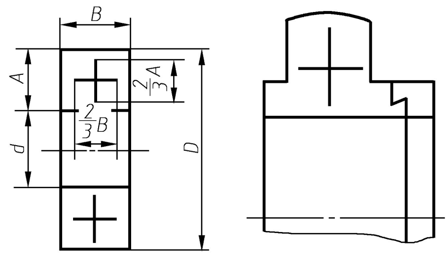
（1）图线　通用画法、特征画法和规定画法中的各种符号、矩形线框和轮廓线均用粗实线绘制。

（2）尺寸和比例　绘制滚动轴承时，其矩形线框或外形轮廓的大小应与滚动轴承的外形尺寸（外径 D、内径 d、宽度 B 或 T）一致，并与所属图样采用同一比例。

（3）剖面符号　在剖视图中，用简化画法绘制滚动轴承时，一律不画剖面符号（剖面线）；用规定画法绘制滚动轴承时，轴承的滚动体不画剖面线，其各套圈等可画成方向和间隔相同的剖面线。

2. 通用画法

在剖视图中，当不需要确切地表示滚动轴承的外形轮廓、载荷特性、结构特征时，可用矩形线框及位于线框中央正立的十字形符号表示，见图 9-45a；如需确切地表示滚动轴承的外形，则应画出剖面轮廓，并在轮廓中央画出正立的十字形符号，见图 9-45b。



a)　　b)

图 9-45　滚动轴承的通用画法

a）一般通用画法　b）画出外形轮廓的通用画法

3. 特征画法

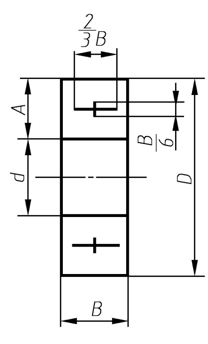
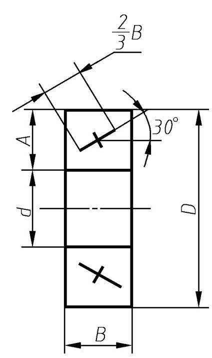
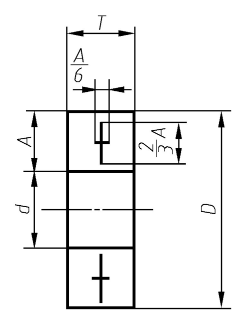
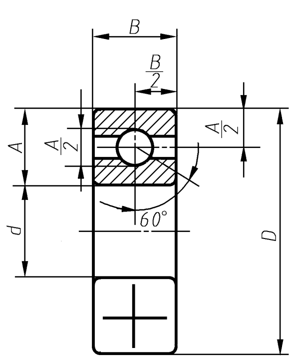
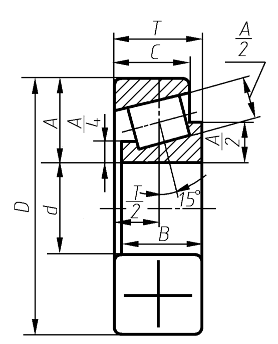
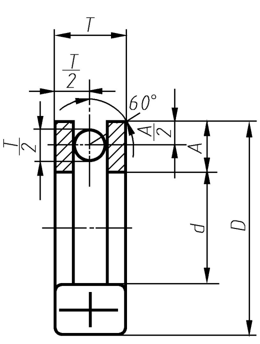
在剖视图中，如需较形象地表示滚动轴承的结构特征和载荷特性时，可采用在矩形线框内画出其结构要素符号的方法。几种常用滚动轴承的特征画法见表 9-6。

4. 规定画法

必要时，在滚动轴承的产品图样、产品样本、产品标准、用户手册和使用说明书中，可采用规定画法绘制滚动轴承（在装配图中，滚动轴承的保持架及倒角等可省略不画）。几种常用滚动轴承的规定画法见表 9-6。

规定画法一般绘制在轴的一侧，另一侧按通用画法绘制。

表 9-6　常用滚动轴承的特征画法和规定画法

轴承类型	深沟球轴承	圆锥滚子轴承	推力球轴承
特征画法			
规定画法			

第十章　零　件　图

第一节　概　　述

一、什么是零件图

任何机器或部件都是由若干零件装配而成的，如图 10-1 所示的圆柱齿轮减速器，它是由箱盖、箱座、齿轮、轴、端盖、滚动轴承、螺栓等 20 多种零件所组成的。可见，零件是机器或部件中不可再分割的基本单元，也是制造单元，而用来表示零件结构、大小及技术要求的图样称为零件图。图 10-2 所示为圆柱齿轮减速器中低速轴的零件图。

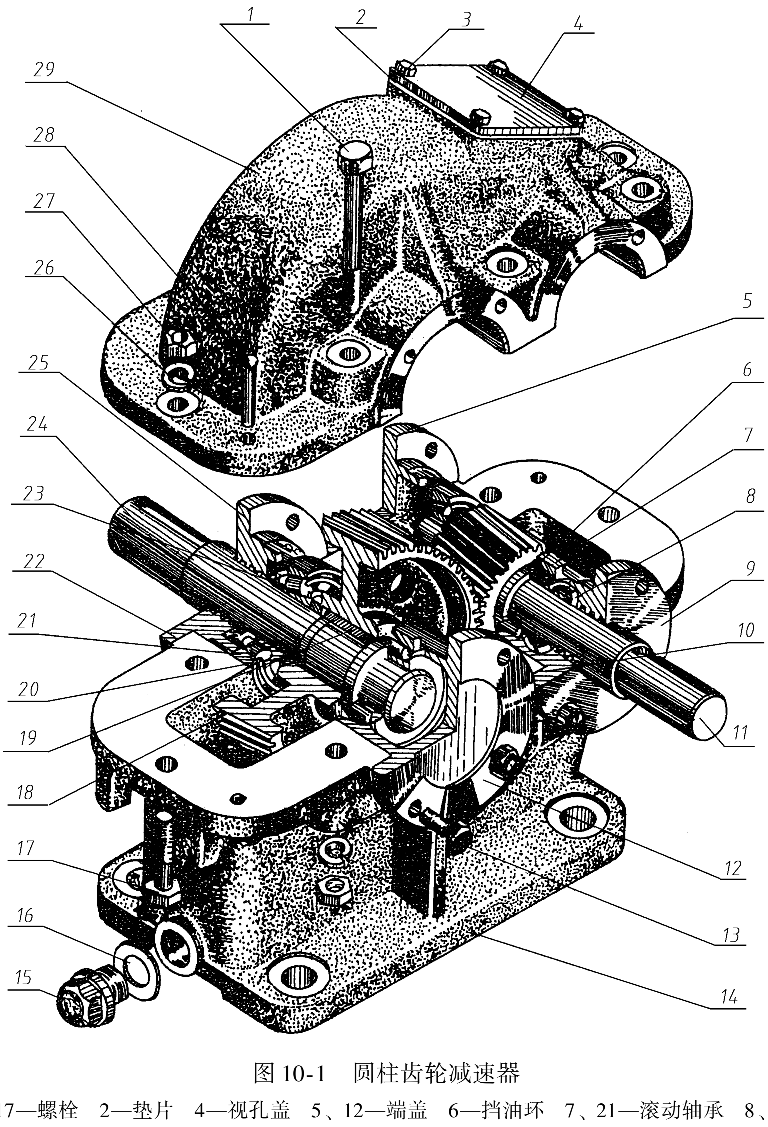


图 10-1　圆柱齿轮减速器

1、3、13、17—螺栓　2—垫片　4—视孔盖　5、12—端盖　6—挡油环　7、21—滚动轴承　8、23—甩油环　9、25—可通端盖　10、22—调整垫片　11—齿轮轴　14—箱座　15—螺塞　16、26—垫圈　18—齿轮　19—键　20—定距环　24—轴　27—螺母　28—销　29—箱盖

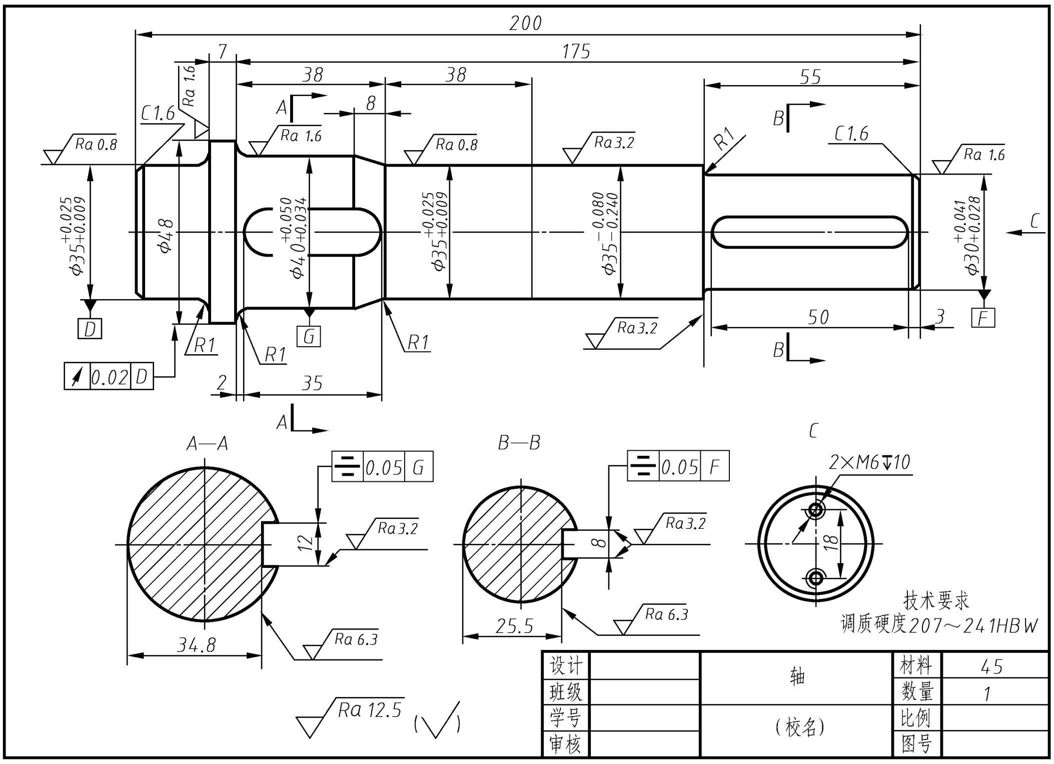


图 10-2　低速轴零件图

二、零件图的作用

零件图是生产部门的重要技术文件，是指导零件制造和检验的依据。

三、零件图的内容

零件图不仅要表达出机器或部件对零件的要求，还要考虑到结构和制造的可能性和合理性，因此，零件图必须具备下列内容：

1. 一组视图

选用一组视图（包括视图、剖视图、断面图、简化画法等）正确、完整、清晰和简便地表达出零件的内外结构形状。

2. 尺寸

在零件图上应正确、完整、清晰、合理地标注出制造和检验零件所需的全部尺寸。

3. 技术要求

用一些规定的代（符）号、数字、字母和文字注解说明零件制造和检验时在技术指标上应达到的要求。如表面粗糙度、尺寸公差、几何公差、材料和热处理、检验方法以及其他特殊要求等。

4. 标题栏

标题栏应配置在图框的右下角。它一般由更改区、签字区、其他区、名称以及代号区组成。填写的内容主要有零件的名称、材料、数量、比例、图号及设计、审核、批准者的姓名等。标题栏的尺寸和格式已经标准化，可参见图 1-3。本书则采用简化标题栏，参见图 1-4。

第二节　零件结构的工艺性简介

零件的结构形状主要是根据它在机器（或部件）中的功用所决定的，同时制造工艺对零件的结构也提出了要求，而这些都应在图上表达清楚。只有具备一定的分析零件结构工艺的知识和能力，才能准

确地绘制零件图和阅读零件图。为此，下面先介绍零件的一些常见工艺结构知识。

一、零件上的铸造结构

1. 铸造圆角

当零件的毛坯为铸件时，因铸造工艺的要求，铸件各表面相交的转角处都应做成圆角，见图 10-3。铸造圆角可防止铸件浇铸时转角处的落砂现象及避免金属冷却时产生缩孔和裂纹。铸造圆角的大小一般取 $R=3\sim5\text{mm}$，可在技术要求中统一写明。

2. 起模斜度

为了起模方便，在铸件造型时，沿铸件内外壁起模方向应有适当的斜度，该斜度称为起模斜度。起模斜度一般在 3°左右，因斜度较小，在图中允许既不画出，也不标注出尺寸，见图 10-4a。在需要表明时，可在技术要求中用文字说明。当必须在图中注明斜度时，标注方法见图 10-4b。

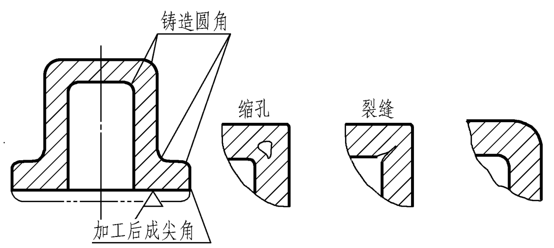


图 10-3　铸造圆角

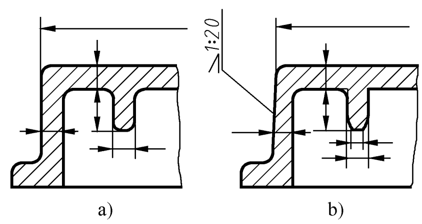


图 10-4　起模斜度

a）不加标注　b）加以标注

3. 铸件壁厚

当铸件的壁厚不均匀时，铸件在浇注后，因各处金属冷却速度不同，将产生裂纹和缩孔现象。因此，铸件的壁厚应尽量均匀，见图 10-5a；当必须采用不同壁厚连接时，应采取逐渐过渡的方式，见图 10-5b。铸件的壁厚尺寸一般直接注出。

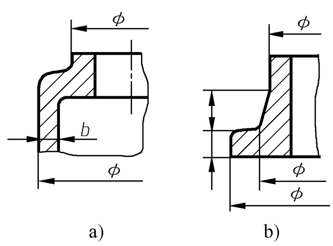


图 10-5　铸件壁厚

a）均匀壁厚　b）逐渐过渡

4. 过渡线

由于铸件（包括锻件）工艺的要求，零件两表面相交处需用圆角过渡，这就使得两表面的交线很不明显。为了在视图上准确地区分出形体的各组成部分，使视图清晰易读，所以在画图时仍需画出两形体表面的交线，该交线称为过渡线，其画法见图 10-6 和图 10-7。

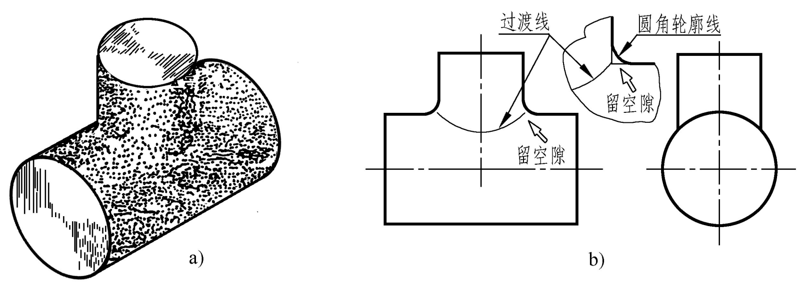


图 10-6　过渡线的画法（一）

a）轴测图　b）过渡线

二、零件上的机械加工结构

1. 平面结构、凸台和凹坑

零件间相互接触的表面一般都需要加工，所以在设计零件时应尽可能减少接触面积，这样不仅可以

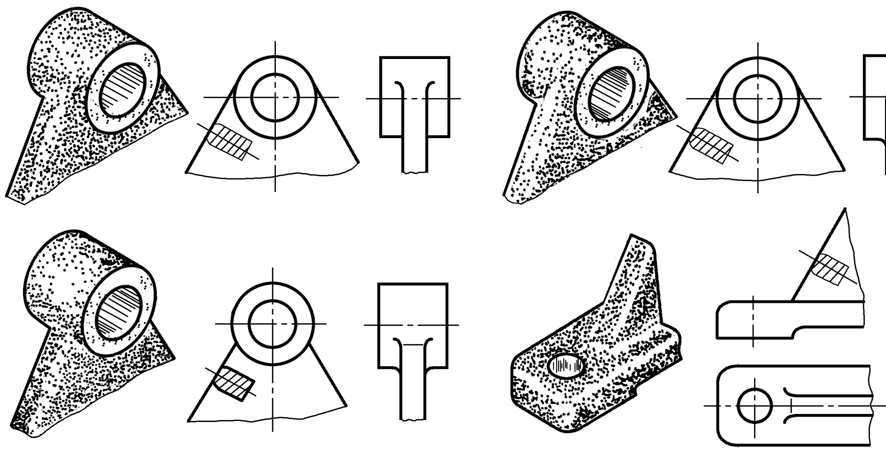


图 10-7　过渡线的画法（二）

减少加工量，降低制造成本，还可以提高表面的接触性能。图 10-8 所示为箱体零件常见的几种底平面结构。而当零件表面上的某个局部需要加工时，则常采用图 10-9 所示的凸台或凹坑结构形式。

2. 退刀槽和砂轮越程槽

在零件切削加工时，为了便于退出刀具及保证装配时相关零件的接触面靠紧，在被加工表面台阶处应预先加工出退刀槽或砂轮越程槽。车削外圆时的退刀槽，其尺寸一般可按“槽宽 × 直径”或“槽宽 × 槽深”方式标注，见图 10-10。车削螺纹时的退刀槽，其结构形式和尺寸注法见第九章。磨削外圆或外圆和端面时的砂轮越程槽见图 10-11。

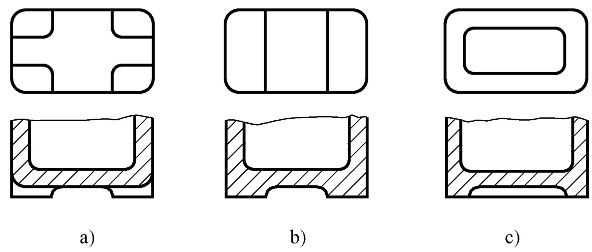


图 10-8　箱体零件常见的底平面结构

a）块状结构　b）条状结构　c）框形结构

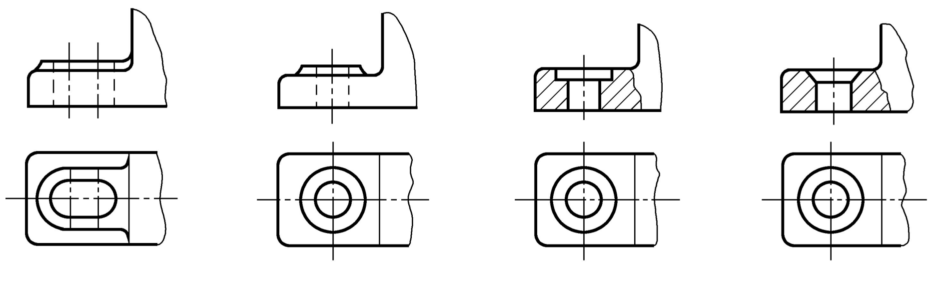


图 10-9　凸台和凹坑结构

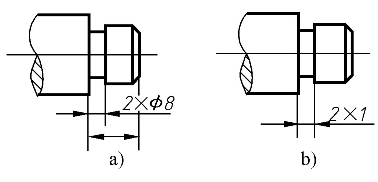


图 10-10　退刀槽

a）槽宽 × 直径　b）槽宽 × 槽深

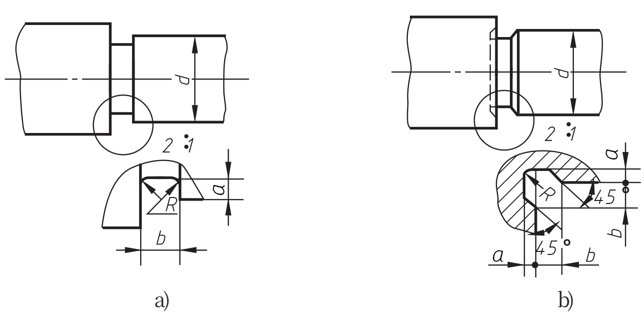


图 10-11　砂轮越程槽

a）磨削外圆　b）磨削外圆和端面

3. 钻孔结构

用钻头加工不通孔（盲孔）时，由于钻头顶部切削刃呈锥形结构，使得孔的底部产生一个120°的锥形孔（钻头角），这个锥形孔必须画出，但不必注出其角度，也不包括在钻孔深度内，即不通孔的深度是指圆柱孔的深度 h，见图10-12a。当用两个不同直径的钻头加工阶梯孔时，在阶梯孔的过渡处也存在120°的钻头角，其画法及尺寸注法见图10-12b。用钻头钻孔时，为保证钻孔准确，同时避免钻头折断，应尽量使钻头轴线垂直于被钻孔的表面，即应设计孔的端面与孔的轴线垂直，见图10-13。

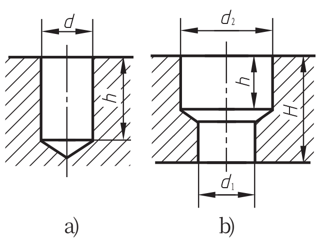


图10-12 钻孔结构

a）盲孔 b）阶梯孔

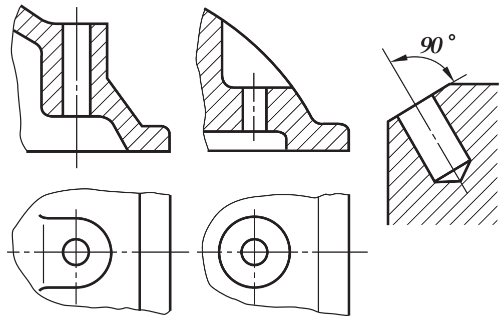


图10-13 钻孔的端面

第三节 零件图的视图选择

零件的视图选择，就是选用一组合适的视图表达出零件的内、外结构形状及其各部分的相对位置关系。它是前述章节中机件各种表达方法的具体综合运用。一个好的零件视图表达方案，应具有表达正确、完整、清晰、简练，同时便于看图的特点。由于零件的结构形状是多种多样的，所以在画图前应对零件进行结构形状分析，并针对不同零件的特点选择主视图及其他视图，确定最佳表达方案。

一、零件分析

零件分析是认识零件的过程，是确定零件表达方案的前提。一个好的视图表达方案，离不开对零件全面、透彻、正确的分析。同时，零件分析也是确定零件尺寸标注以及技术要求的前提。因此可以说，零件分析是绘制零件图的依据。通常零件分析主要包括以下四个方面内容：

1. 零件的结构形状分析

通过对零件的结构形状分析，了解它的内外结构形状特征，从而可根据其结构形状特征选用适当的表达方法和方案，在完整、清晰地表达零件各部分结构形状的前提下，力求制图简便。这是选择主视图的投射方向和确定视图表达方案的前提。

2. 零件的功能分析

通过对零件的功能分析，了解零件的作用及工作原理，分清其结构的主要部分、次要部分，明确零件在机器或部件中的工作位置和安装形式。这是选择主视图时，需要遵循工作位置原则的依据。

3. 零件的加工方法分析

在画零件图之前，应对该零件的加工方法和加工过程有一个比较完整、清楚的了解，这样就可确定零件在各加工工序中的加工位置。这是选择主视图时，需要遵循加工位置原则的依据。

4. 零件的工艺结构分析

零件的工艺结构分析就是要求设计者从零件的材料、铸造工艺、机械加工工艺乃至装配工艺等各个方面对零件进行分析，以便在零件的视图选择过程中，考虑这些工艺结构的标准化等特定要求和规定，使零件视图表达更趋完整、合理。

二、主视图的选择

主视图是零件图中最主要的视图，是一组视图中的核心，选好主视图对较好地确定整个零件图的方案是十分重要的。零件图的主视图选择与前述组合体主视图选择一样，都需要遵循形状特征原则，但零件图的主视图选择还必须遵循工作位置原则和加工位置原则。下面分别予以介绍。

1. 主视图的投射方向

零件主视图投射方向的选择应遵循形状特征原则，这与第六章中组合体主视图选择原则是一样的，即在分析零件内外结构形状及各部分相互位置的基础上，使得主视图的投射方向能尽可能较多地显示出零件的结构形状特征，更好地反映零件整体概貌。

2. 工作位置

零件的工作位置是指零件在机器或部件中的实际安装位置。主视图与工作位置一致，便于想象出零件的工作情况，了解零件在机器或部件中的功用和工作原理，有利于画图和读图。

3. 加工位置

加工位置是指零件加工时在机床上的装夹位置，主视图与加工位置一致，加工时便于图和物对照，便于加工和测量，有利于加工出合格的零件。

综上所述，零件图的主视图选择应遵循形状特征原则、工作位置原则和加工位置原则，但不是对所有零件的主视图选择都能满足上述三个原则，此时应以形状特征为主，在满足形状特征原则的前提下兼顾其他两个原则。下面举例说明。

图 10-14a 所示零件为减速器的低速轴，它的主要结构由几段不同直径的同轴圆柱体组成，此外还有键槽、倒角、螺孔等次要结构。很明显，图中 *A* 方向最能反映出轴的结构形状特征，对键槽的表达也最清楚，故确定以 *A* 方向作为主视图的投射方向。该轴的大部分加工工序是在车床上和磨床上进行的，而在车床上和磨床上加工轴类零件时，通常都是轴线水平放置，见图 10-14b，所以轴的主视图也按轴线水平放置，以符合加工位置原则。同时轴线水平放置也符合低速轴的实际工作位置。综上分析，确定图 10-14c 为减速器低速轴的主视图。

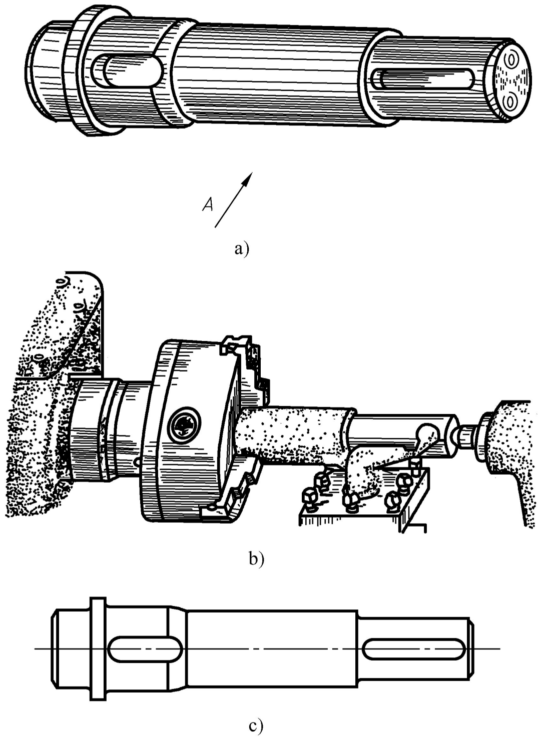


图 10-14　减速器低速轴
a）低速轴　b）加工位置　c）主视图

对于少数工作位置为轴线垂直或倾斜位置的轴，则主视图不能同时满足工作位置和加工位置原则，此时应按加工位置原则画出主视图。

又如图 10-15a 所示齿轮泵的泵体，通过结构分析不难看出，该泵体从 *A* 方向（*C* 方向与 *A* 方向相似）或 *B* 方向作为主视图的投射方向能较多地反映出泵体的结构形状特征，然而从 *A* 方向投射，且同时采用通过两轴孔轴线的平面（基本对称面）剖切的全剖视图（图 10-15b），对泵体内部结构形状和相互位置的表达较从 *B* 方向投射（见图 10-15c）更清楚，且可与齿轮泵装配图的主视图中泵体的投射方向一致（参见图 11-21），所以可选定 *A* 方向为主视图的投射方向。同时按图 10-15b 中泵体的主动轴孔在上方，从动轴孔在下方，两轴线呈水平的图示位置放置，也是符合泵体的实际工作位置的。由于泵体的加工工序较多，加工位置多变，图示位置只能符合镗削泵体内腔孔和加工轴孔时的加工位置，而不可能同时满足加工右端面和端面上的螺孔、加工前方凸缘表面和螺孔等各工序的加工位置要求。综上所述，最后确定图 10-15b 为主视图。

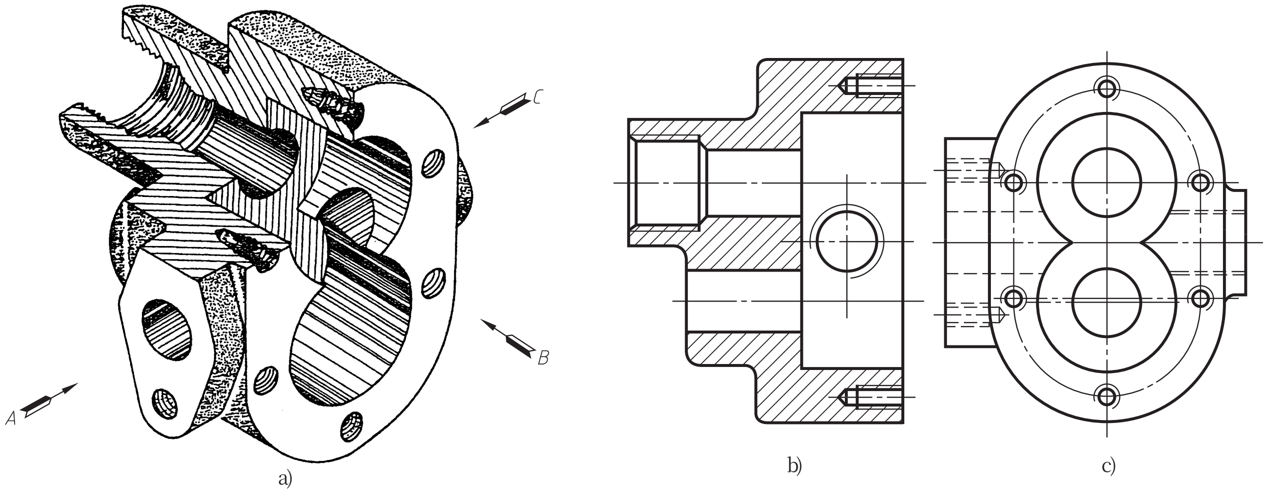


图 10-15　泵体主视图选择比较

a）泵体　b）*A* 方向选择主视图　c）*B* 方向选择主视图

三、其他视图的选择

在选择主视图的同时，应针对零件的具体结构形状及工艺过程等选择相应的其他视图及适当的表达方法，以补充主视图表达的不足，完善零件的表达。

对于主视图中尚未表达清楚的主要结构形状，应优先选用俯视图、左视图等基本视图，并在基本视图上作剖视；次要的局部结构可采用局部视图、局部剖视、断面、局部放大图及简化画法等表示法，并尽可能按投影关系配置视图，以利于画图和读图。

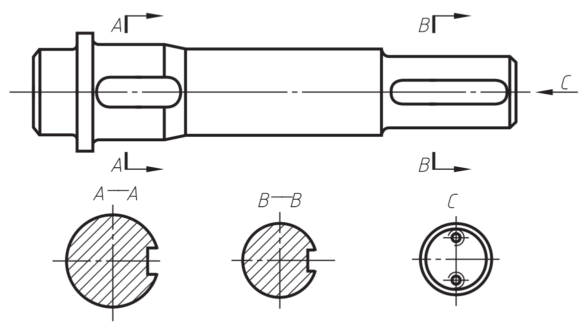


图 10-16　低速轴视图表达方案

如图 10-14a 所示的低速轴，当主视图选定后，轴上的两个键槽的深度以及右端面上的两个螺孔位置和深度尚未表达清楚。对键槽的深度，一般用断面较为简明、清晰，所以采用了 *A—A* 和 *B—B* 断面，见图 10-16。对右端面的两个螺孔位置若用右视图，则图中要画出一些同心圆，使得图形不够简明清晰，所以采用了 *C* 向局部视图，螺孔的深度可在主视图中用局部剖视表达，也可在 *C* 向局部视图上注出螺纹尺寸及其深度（参见表 10-1）。综上分析，可得低速轴的视图表达方案见图 10-16。

又如图 10-15a 所示的泵体，当主视图确定后，为了表达泵体左方凸台的形状、右方端面的形状和六个螺孔的分布位置等，一般考虑优先选用基本视图，所以采用了左视图和右视图表示，并按 *B—B* 剖切位置在右视图中作了局部剖视，以显示进、出油孔及进油孔一侧连接螺孔的深度，见图 10-17。又因为主视图采用了全剖视后不能反映进油孔端面腰圆形凸台的形状，所以增加一个 *K* 向视图来表达。综上所述，可得泵体的视图表达方案见图 10-17。

四、零件表达方案小结

通过上述几个例子的分析，可以归纳出确定零件表达方案的具体步骤和要求：

1. 零件分析

零件的结构分析、功能分析和工艺分析等是正确选择及绘制零件视图的前提，必须仔细分析透彻，以便对零件的功用、工作原理、结构形状、工艺结构以及加工工艺等有全面、深刻的了解。

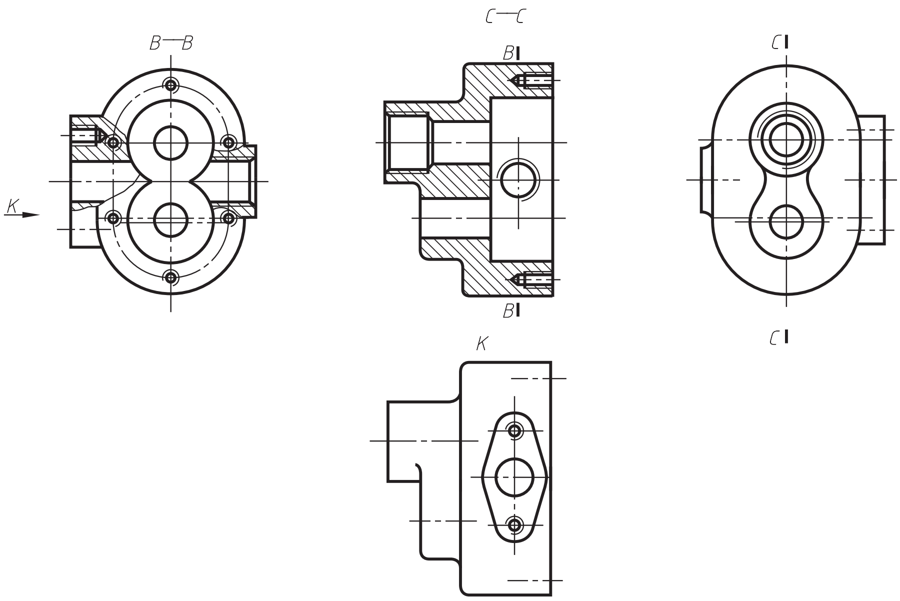


图 10-17 泵体视图表达方案

2. 选择主视图

在以较多地显示零件内外结构形状特征为主视图投射方向的同时，应尽可能地符合零件的工作位置和加工位置。

3. 其他视图的选配

其他视图的选配主要是补充主视图表达的不足，应针对零件形状特点灵活选配，可作多种方案的比较，找出最佳的表达方案，用一组恰当的视图正确、完整、清晰和简便地表达出零件的内外结构形状。

在选择零件图的视图表达方案时还应注意以下几点：

1）选择零件图的视图表达方案时，应优先采用基本视图和在基本视图上作剖视。

2）选择零件图的视图表达方案时，应以遵循形状特征原则为主，同时考虑尽可能符合工作位置原则和加工位置原则。

3）选择主视图时，应同时考虑其他视图的选择，各视图应相互配合，互为补充，使表达既完整又不重复，即应同时考虑整个视图表达方案。

综上所述，选择零件图的视图表达方案可以比拟为一个复杂的系统工程，必须同时考虑许多问题，涉及多方面的知识，遵循一系列的原则，有时这些原则又相互矛盾，不能兼顾，因此，必须针对具体情况作具体分析并灵活运用，在服从正确、完整、清晰、简便地表达零件的总原则下，可以同时拟订几个不同方案，进行分析比较，从中选出最佳表达方案。下面以减速器箱盖的视图选择为例来系统说明零件图视图选择的整个过程。如图 10-1 所示的箱盖，它是一个前后对称的零件，当从前面或后面作为主视图的投射方向时，可以较多地反映箱盖的形状特征，同时在主视图上还可采用局部剖视将箱盖的壁厚和装配螺栓孔表达清楚；而从其他方向投射时，则不能将箱盖的主要结构轴承孔和壳形等表达清楚。那么，究竟采用从前面投射，还是从后面投射？此时必须考虑其他视图的选配和表达方案，若采用从后面投射，虽然可以在左视图中将长方形视孔表达出来，但不能表现出实形，反而使左视图变得不清晰。如采用从前面投射，则在左视图中长方形视孔虽表达不出，但可增加反映实形的 C 向斜视图来表达，这样虽然多了一个视图，但简明而清晰。因此，选择从前面投射优于从后面投射。此外，箱盖的工作位置和主要加工位置均为盖口向下，所以，箱盖选用图 10-18 所示的主视图可同时符合形状特征原则、加工位置原则和工作位置原则。此外，在主视图的左下方采用了局部剖视，以表达连接板上螺栓孔及其沉孔结构。

在确定主视图的同时，还优先选用了俯视图，以表达箱盖下部的连接板形状，轴承座旁凸台的形状，以及连接板上的螺孔、销孔数目及分布位置等。其次，优先选用了左视图，考虑到箱盖内、外结构形状都要表达，且箱盖具有前、后对称面，故又采用了 *A*—*A* 半剖的左视图，它表达了箱盖前、后壁的厚度、前后壁与顶壁连接处的圆角、三角形肋板、轴承座上螺孔的深度等。肋板处的重合断面则表达了肋板的横截面形状。以上这些结构如采用局部视图、剖视、移出断面等分别表达，会使图形分散，显得支离破碎，整体感不强，不利于看图，现选用左视图，既集中表达了这些局部结构的形状，又反映了整体间的相互关系。对箱盖右上方视孔凸台，因是倾斜方向，在左、俯视图中都不能反映实形，所以采用 *C* 向斜视图来表达其形状及连接螺孔的数量和位置（螺孔深度可通过标注尺寸来表明）。由于箱盖的前、后壁与左、右壁之间是用圆角连接的，若在俯视图中以虚线画出，会影响俯视图的清晰，这里采用了 *B* 向局部视图来表达。最终箱盖的视图表达方案见图 10-18。

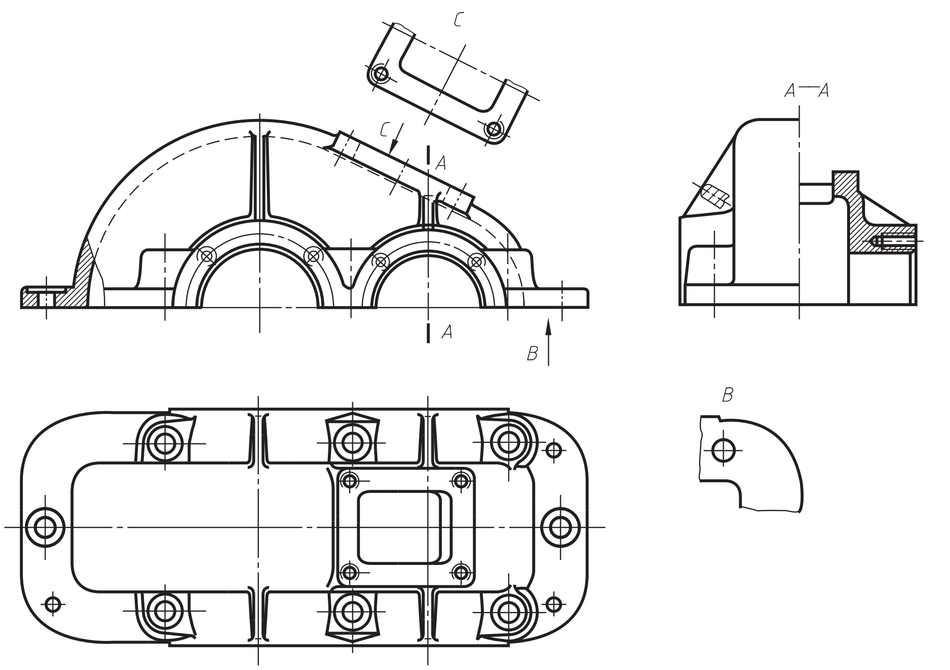


图 10-18 箱盖的视图表达方案

第四节 零件图的尺寸标注

在前述的章节中已经介绍了尺寸注法的有关规定及基本体和组合体的尺寸注法。由于零件图是指导零件制造和检验的重要技术文件，所以零件图的尺寸标注除了前面所述的应完整、清晰，符合国家标准规定外，还要考虑尺寸的合理性。所谓尺寸的合理性，是指标注的尺寸能符合零件的设计要求和工艺要求。显然，只有具备较多的设计、工艺知识，才能做到尺寸标注的合理性，这方面的知识要通过今后专业课的学习及生产实践逐步掌握。本课程只介绍有关尺寸标注合理性的一些基本知识。

一、尺寸基准的概念和分类

尺寸基准是用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面，即零件在设计、制造时用以确定尺寸起始位置的那些点、线、面。根据使用场合和作用的不同，尺寸基准可分为设计基准和工艺基准两类：设计图样（如零件图）上所采用的基准称为设计基准，在工艺过程中（如加工、定位、测量、装配等）所采用的基准称为工艺基准。

二、合理标注尺寸的原则

零件图中的尺寸按其重要性一般可分为重要尺寸、一般尺寸和不重要尺寸。重要尺寸是指影响零件精度和工作性能的尺寸，如配合尺寸等，它们一般都只允许很小的误差，即有较严格的公差要求（参见本章第五节）；一般尺寸是指零件上的一般结构尺寸，通常为非配合尺寸，这类尺寸的大小主要在于满足零件的强度和刚度要求，对误差要求不高，一般不注出公差要求，称为未注公差尺寸；不重要尺寸一般对零件精度和工作性能以及强度和刚度的影响都不大，故通常允许有较大的误差，在图样上也不注出公差要求。因此，合理标注尺寸的原则如下：

1. 重要尺寸应直接标注

重要尺寸必须直接从设计基准出发注出其尺寸和公差要求，在制订加工工艺时，应考虑使工艺基准服从设计基准，即工艺基准与设计基准重合（基准统一原则），以便在一次加工中直接获得该尺寸，即只有一次加工误差，因而容易满足该尺寸的设计要求，从而保证零件的质量。如上述齿轮泵泵体的重要尺寸的标注见图 10-19。

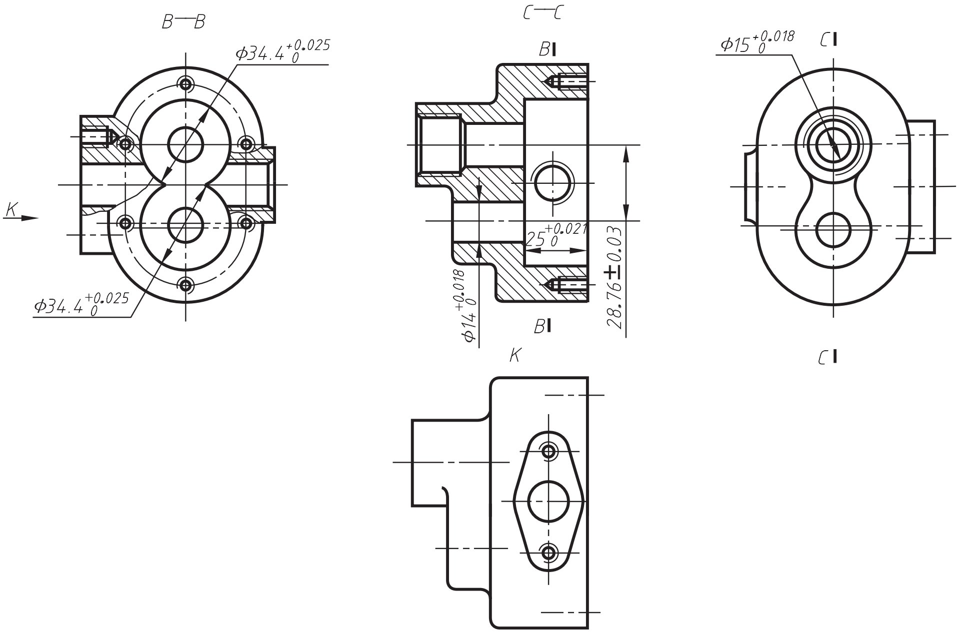


图 10-19　泵体的重要尺寸

2. 一般尺寸的标注应考虑加工工艺要求

对于零件上的一般尺寸，其设计基准的选择应考虑加工工艺的要求，即从便于加工、测量、装配等为出发点，把设计基准定在工艺基准上，即设计基准服从工艺基准，与工艺基准重合。如图 10-20 所示减速器低速轴的部分尺寸，其中长度方向（轴向）尺寸均为未注公差的一般尺寸，这些尺寸设计基准的确定和尺寸注法应从便于加工的工艺要求来确定，即从符合车削加工顺序、车削加工要求来确定，见图 10-21。

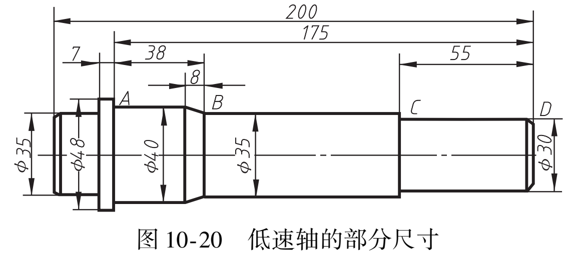


图 10-20　低速轴的部分尺寸

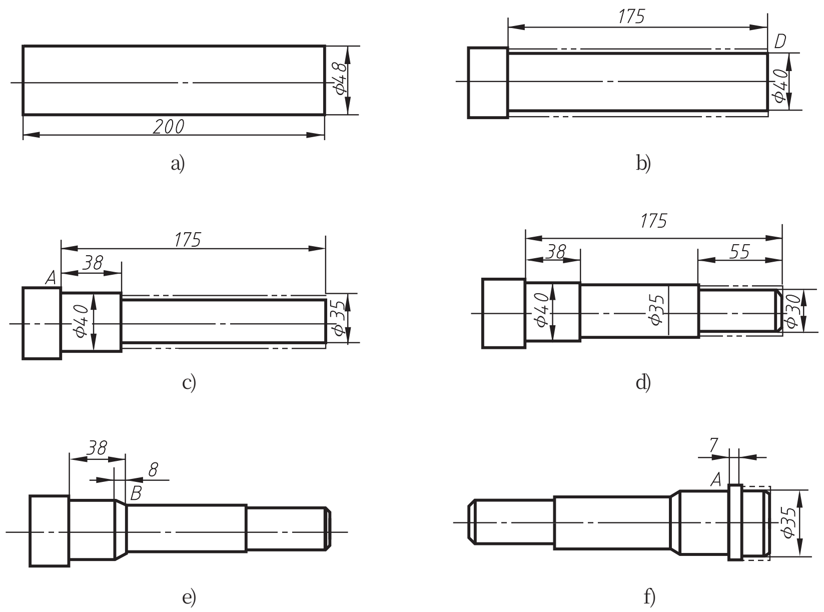


图 10-21　低速轴的车削示意图

a）为便于下料和车外圆，需要注出轴的总长 200 和最大直径 $\phi48$（应另加车削余量）　b）车削 $\phi40$ 段。以 *D* 面为基准，控制其长度为 175　c）车削 $\phi35$ 段。以 *A* 面为基准，控制 $\phi40$ 段的留下长度为 38　d）车削 $\phi30$ 段。以右端面 *D* 为基准（工艺基准），控制其长度为 55　e）车削锥面部分。以 *B* 面为基准（工艺基准），控制其长度为 8　f）将工件调头，车削 $\phi35$ 段，以 *A* 面为基准，控制凸肩留下长度为 7

又如图 10-22a 所示的零件，标注其阶梯孔的长度方向（轴向）尺寸时，其尺寸 *A*、*B*、*C*、*D* 均为一般尺寸（和不重要尺寸），从设计要求看，图 10-22b、c 的两种尺寸注法都可以。然而从工艺要求看，图 10-22b 注出尺寸 *A*、*B* 和 *D*，其中尺寸 *D* 不便于测量，而图 10-22c 中选用测量用的工艺基准（也称测量基准）*M* 和 *N* 作为设计基准，标注尺寸 *A*、*B* 和 *C*，测量就比较方便。图 10-23 示出了轴上键槽深度四种不同的尺寸注法，何种正确？为什么？请读者自行分析。

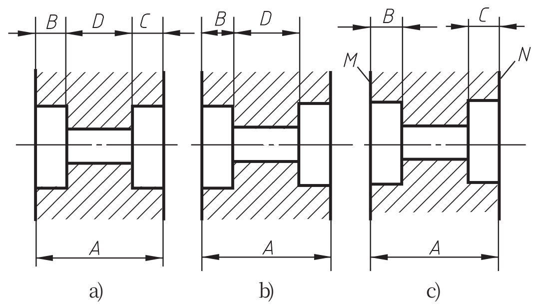


图 10-22　阶梯孔轴向尺寸标注

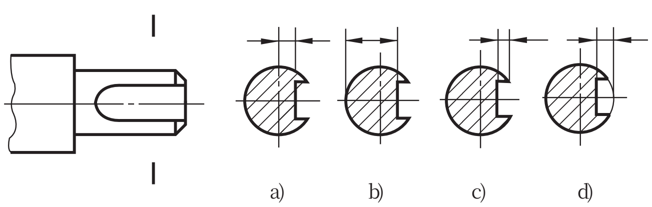
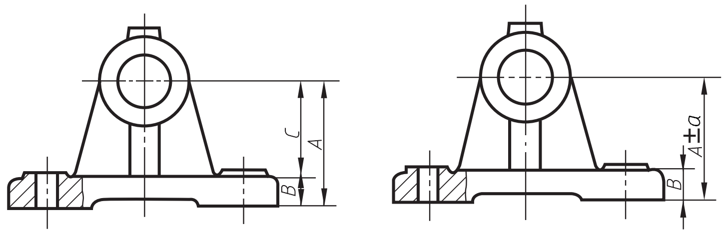


图 10-23　键槽深度标注正误判别

3. 不重要尺寸作为尺寸链的封闭环，不注尺寸

如图 10-24a 所示的轴承座，高度方向尺寸 *A*、*B* 和 *C* 构成一个封闭的链状，这种相互联系且按一定顺序排列的封闭尺寸组合称为尺寸链。尺寸链中的每一个尺寸称为尺寸链的环。其中在加工过程（或装配过程）最后形成的一环称为封闭环，而其余各环则称为组成环。显然，任一组成环的尺寸变动必然引起封闭环尺寸的变动，且封闭环的尺寸误差为各组成环的尺寸误差之和。图 10-24b 所示尺寸 $A \pm a$ 为重要尺寸，应直接注出；与此同时，还需注出一般尺寸 *B*；而尺寸 *C* 为不重要尺寸，应作为尺寸

链的封闭环，不注尺寸，让其在加工最后自然形成（加工出尺寸 A 和 B 后，即可得到尺寸 C），以累积各组成环（尺寸 A 和 B）的误差，对零件的质量并无影响。



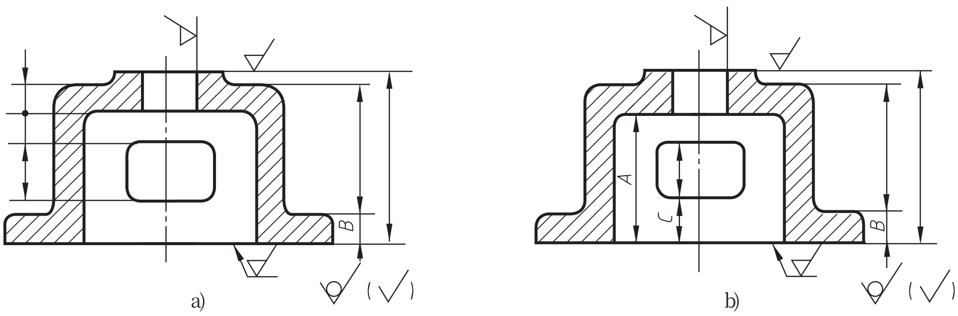
a)　　b)

图 10-24　轴承座高度方向尺寸链

a）注成封闭尺寸　b）不注封闭环尺寸

4. 毛坯面与加工面尺寸应分别标注

对零件上的毛坯面和加工面，在标注尺寸时应按两组分别标注。两组尺寸相关联时，可用一个尺寸联系起来，这样可保证毛坯原有尺寸的准确性。如图 10-25a 所示，两组尺寸间的关系用尺寸 B 联系，可保证毛坯尺寸准确。而图 10-25b 的注法，每个毛坯尺寸都和底面相联，则在加工底面时很难做到。



a)　　b)

图 10-25　毛坯面与加工面的尺寸标注

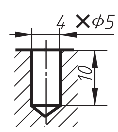
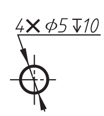
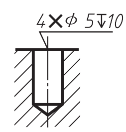
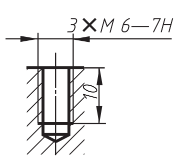
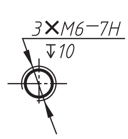
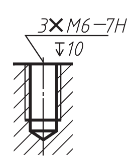
a）正确注法　b）不正确注法

三、零件常见结构的尺寸注法

1）常见孔的尺寸注法，见表 10-1。

2）倒角的尺寸注法，见表 10-2。

表 10-1　常见孔的尺寸注法

孔的类型	标注方法		
	普通注法	旁注法	
光孔			
螺孔			

（续）

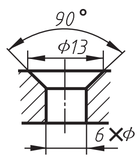
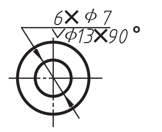
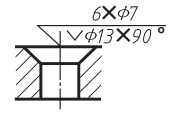
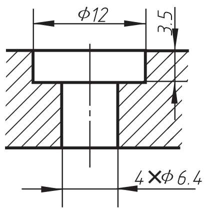
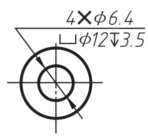
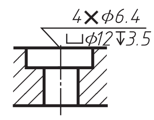
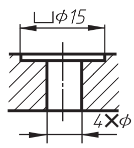
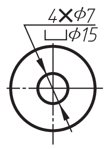
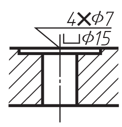
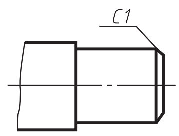
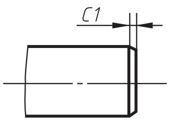
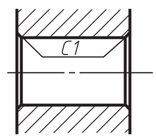
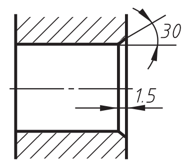
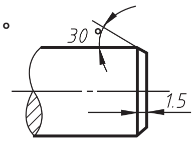
孔的类型	标　注　方　法		
	普　通　注　法	旁　注　法	
锥形沉孔			
柱形沉孔			
锪平沉孔			

表10-2　倒角的尺寸注法

倒　角	45°倒角注法	  
	30°倒角注法	 

四、零件尺寸标注示例

上面介绍了有关合理标注尺寸的一些基本内容和原则，现以图10-26所示的齿轮油泵泵体加以说明。当分析了泵体的作用和结构后，知泵体内腔安装有一对啮合齿轮，泵体的轴孔用作支承齿轮轴。为了保证油泵的运转精度，达到设计的性能和质量要求，长、宽、高三个方向的设计基准分别选为齿腔的左侧面、泵体的前后对称面和轴孔的轴线。应直接标注出的泵体的重要尺寸是轴孔尺寸 $\phi15^{+0.018}_{0}$、$\phi14^{+0.018}_{0}$，内腔的尺寸 $\phi34.4^{+0.025}_{0}$ 和 $25^{+0.021}_{0}$ 以及两齿轮的中心距 28.76 ± 0.03。从加工泵体的工艺分析，泵体的右端面是主要加工度量基准，所以沿轴向的泵体外形尺寸65、35以及进油孔的定位尺寸13，右端面螺孔的深度11都是从工艺基准右端面标注，在确定了这些主要尺寸后，则用形体分析的方法并符合上述有关合理标注尺寸的原则补全各部分的定形和定位尺寸。铸造圆角、起模斜度则统一在技术要求中给定。

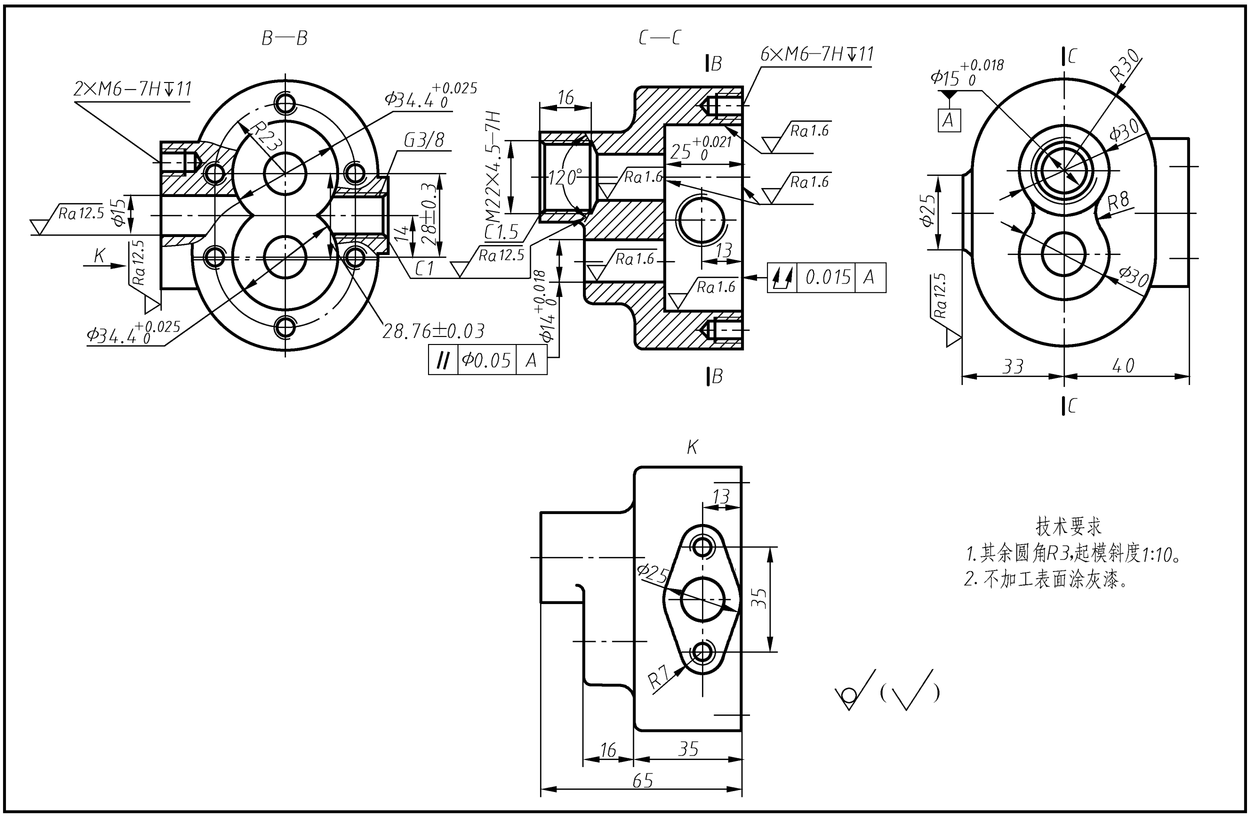


图 10-26　泵体尺寸标注

而减速器低速轴的完整尺寸标注见图 10-2。

第五节　零件图的技术要求

零件图的技术要求是指制造和检验该零件时应达到的质量要求。所以，零件图上除了视图和尺寸外，还应注明零件的技术要求。技术要求主要包含以下内容：

1）零件的材料及毛坯要求。

2）零件的表面结构。

3）零件的尺寸公差、几何公差。

4）零件的热处理、涂镀、修饰、喷漆等要求。

5）零件的检测、验收、包装等要求。

这些内容有的按规定符号或代号标注在图上，有的用文字注写在图样的右下方。由于技术要求涉及的专业知识面较广，本课程仅介绍表面粗糙度、公差配合以及几何公差的基本概念及其在图样上的标注方法。

一、表面粗糙度

1. *表面粗糙度的概念*

有关零件的表面结构，本书只介绍零件的表面粗糙度——零件加工表面上所存在的较小间距的峰谷组成的微观几何特性。

表面粗糙度反映了零件表面的质量，它对零件的装配、工作精度、疲劳强度、耐磨、抗蚀和外观等都有影响。对不同的表面粗糙度需采用不同的加工方法达到，因此，零件的表面粗糙度应根据零件的作

用恰当地选择，从而在保证机器性能要求的前提下，尽量降低生产成本。

2. 表面粗糙度的主要参数

评定表面粗糙度的参数有两种，即轮廓的算术平均偏差 *Ra* 和轮廓的最大高度 *Rz*。这里仅介绍生产中最常用的主要参数 *Ra*。

轮廓算术平均偏差是指在取样长度 *lr*（用于判别具有表面粗糙度特征的一段基准线长度）内，轮廓偏距 *z*（表面轮廓上点至基准线的距离）绝对值的算术平均值，用 *Ra* 表示，见图 10-27，用公式表示为

$$Ra = \frac{1}{lr}\int_0^{lr} |z(x)| \, dx$$

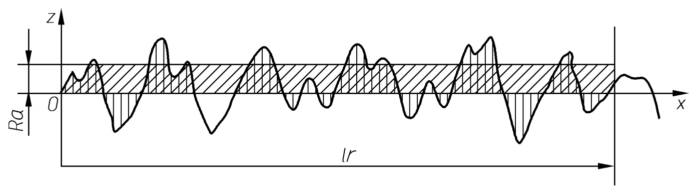


图 10-27　零件的表面粗糙度概念

轮廓算术平均偏差 *Ra* 的标准数值及对应的取样长度和评定长度见表 10-3。一般应优先选用表中的第一系列。

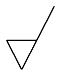
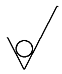
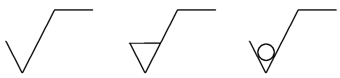
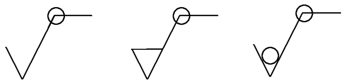
表 10-3　*Ra* 值及其对应的取样长度和评定长度

第一系列 /μm	第二系列 /μm	取样长度 *lr*/mm	评定长度 *ln*=5*lr*/mm	第一系列 /μm	第二系列 /μm	取样长度 *lr*/mm	评定长度 *ln*=5*lr*/mm
	0.008				1.00		
	0.010				1.25	0.8	4.0
0.012		0.08	0.4	1.60			
	0.016				2.0		
	0.020				2.5		
0.025				3.2			
	0.032				4.0		
	0.040				5.0	2.5	12.5
0.050		0.25	1.25	6.3			
	0.063				8.0		
	0.080				10.0		
0.100				12.5			
	0.125				16.0		
	0.160				20		
0.20				25			
	0.25				32	8.0	40.0
	0.32	0.8	4.0		40		
0.40				50			
	0.50				63		
	0.63				80		
0.80				100			

3. 表面粗糙度符号、代号

1）表面粗糙度符号及意义见表 10-4。

表 10-4　表面粗糙度的符号及其意义

符　　号	意 义 及 说 明
	基本符号,表示表面可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明(如表面处理、局部热处理状况等)时,仅适用于简化代号标注
	基本符号加一短横,表示表面是用去除材料的方法获得。如车、铣、钻、磨、剪切、抛光、腐蚀、电火花加工、气割等
	基本符号加一小圆,表示表面是用不去除材料的方法获得。如铸、锻、冲压变形、热轧、冷轧、粉末冶金等 或者是用于保持原供应状况的表面(包括保持上道工序的状况)
	完整图形符号,在上述三个符号的长边上加一横线,用于标注有关参数和说明
	在上述三个符号上均可加一小圆,表示投影视图上封闭的轮廓线所表示的各表面具有相同表面结构要求

2）表面粗糙度符号的画法见图 10-28。表面粗糙度数值及其有关规定详见国家标准 GB/T 131—2006，在符号中注写的位置见图 10-29。

3）表面粗糙度参数 *Ra* 的代号及意义见表 10-5，标注 *Ra* 数值时，代号 *Ra* 可省略，参数值的单位为微米。

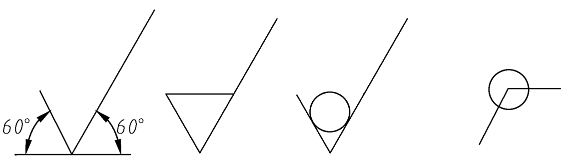


图 10-28　表面粗糙度符号的画法

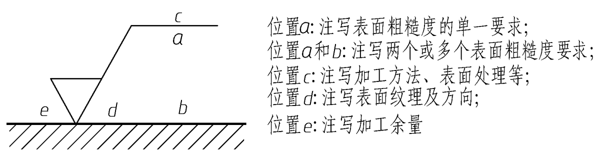
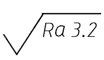
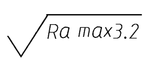
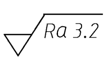
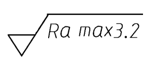
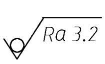
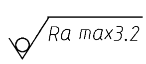
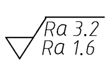
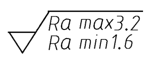


图 10-29　符号中有关规定注写位置

表 10-5　表面粗糙度代号及其意义

代　　号	意　　义	代　　号	意　　义
	用任何方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm		用任何方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的最大值为 3.2μm
	用去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm		用去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的最大值为 3.2μm
	用不去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm		用不去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的最大值为 3.2μm
	用去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,*Ra* 的下限值为 1.6μm		用去除材料方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的最大值为 3.2μm,*Ra* 的最小值为 1.6μm

4. 表面粗糙度代（符）号在图样上的标注方法

1）表面粗糙度代（符）号一般注在可见轮廓线、尺寸界线、引出线或它们的延长线上，符号的尖端必须从材料外指向表面，见图10-30。

2）表面粗糙度代号中数字及符号的方向必须按图10-31的规定标注。

3）在同一图样上，每一表面一般只标注一次代（符）号，并尽可能地靠近有关的尺寸线，见图10-30。当空间狭小或不便标注时，可以引出标注，见图10-32。

4）当零件所有表面具有相同的表面粗糙度要求时，可统一标注在图样的右下角，见图10-33。

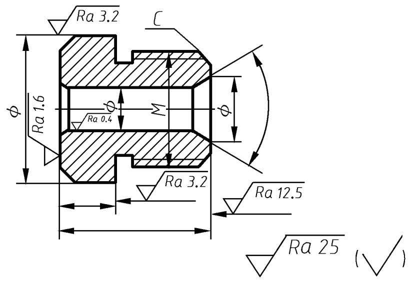
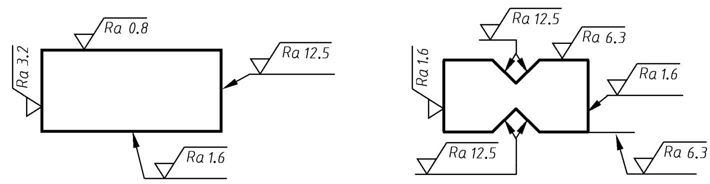


图10-30 表面粗糙度注法



a) b)

图10-31 表面粗糙度代号中数字及符号的方向

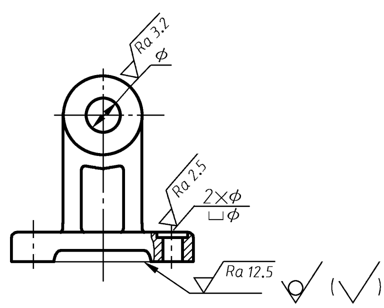


图10-32 引出标注

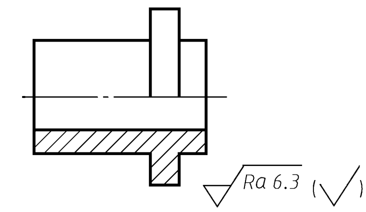


图10-33 全部表面粗糙度相同时的标注方法

5）当零件的大部分表面具有相同的表面粗糙度要求时，对其中使用最多的一种代（符）号可以统一注在图样的右下角，见图10-30、图10-32。

凡统一标注的表面粗糙度代（符）号及说明文字，其高度均应是图样上标注的1.4倍。

6）零件上连续表面（图10-34）、重复要素（如孔、齿、槽等）的表面（图10-35）和用细实线连接不连续的同一表面（图10-32中的底面），其表面粗糙度代（符）号只注一次。

7）同一表面上有不同的表面粗糙度要求时，应用细实线画出其分界线，并注出相应的表面粗糙度代号和尺寸，见图10-36。

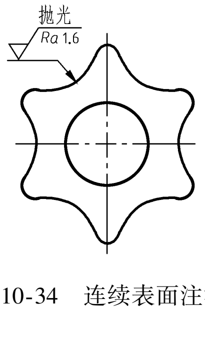


图10-34 连续表面注法

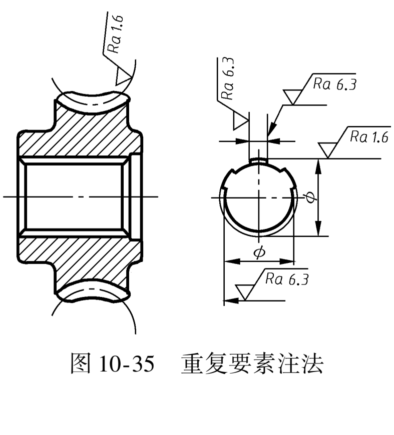


图10-35 重复要素注法

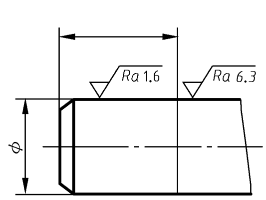


图10-36 同一表面不同表面粗糙度注法

8）齿轮、螺纹等工作表面没有画出齿形（牙型）时，其表面粗糙度代（符）号注法见图 10-37、图 10-38。

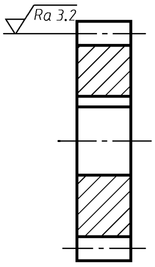


图 10-37　齿轮工作表面的表面粗糙度注法

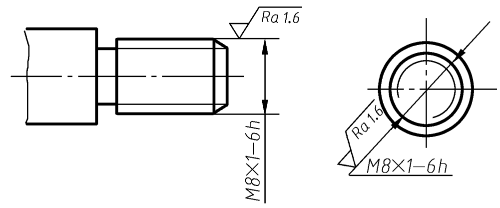


图 10-38　螺纹工作表面的表面粗糙度注法

9）中心孔的工作表面、键槽工作表面、倒角、圆角的表面粗糙度代号可以简化标注，见图 10-39。

10）需要将零件局部热处理或局部镀（涂）覆时，应用粗点画线画出其范围并标注相应尺寸，也可将其要求注写在表面粗糙度符号长边的横线上，见图 10-40。

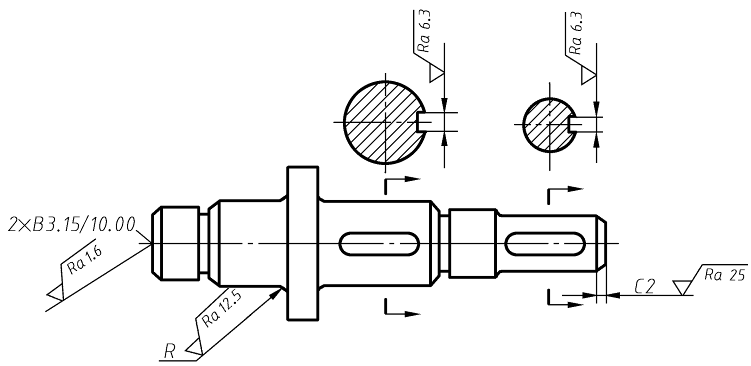


图 10-39　中心孔、键槽、圆角、倒角表面粗糙度的注法

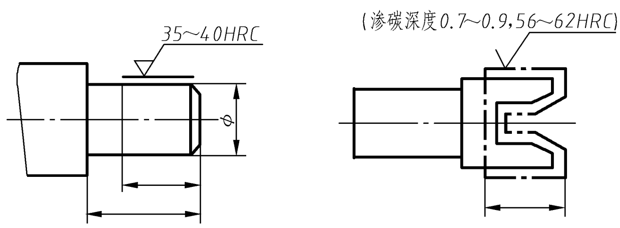


图 10-40　局部处理的注法

二、极限与配合

1. 互换性概念

所谓互换性，是指加工完的同种、同一规格大小的所有合格零件中，任取其中一件，不经修配就能装配到机器或部件中，并满足产品的性能要求。即机器零（部）件具有可以相互替换使用的性能。零件具有互换性有利于组织协作和专业化生产，对保证产品质量、降低成本及方便装配、维修具有重要意义。

2. 尺寸公差

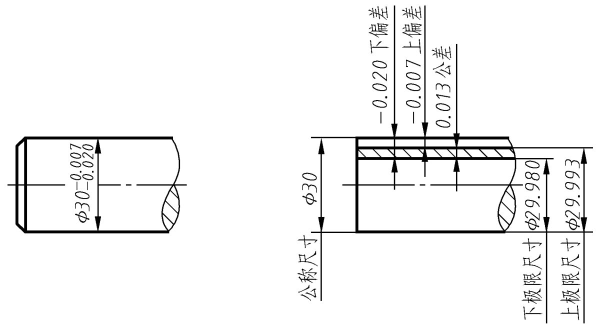
由于零件在实际生产过程中受到机床、刀具、量具、加工、测量等诸多因素的影响，加工完一批零件的实际尺寸总存在一定的误差，为保证零件的互换性，必须将零件尺寸控制在允许的变动范围内，这个允许的尺寸变动量称为尺寸公差，简称公差。

（1）有关尺寸公差的术语和定义

1）公称尺寸 D（d）。设计给定的尺寸。如图10-41a 中的 $\phi30$。

2）实际尺寸。零件制成后，通过测量所得的尺寸。

3）极限尺寸。允许零件实际尺寸变化的两个界限值，其中较大的一个尺寸称为上极限尺寸 D_{max}（d_{max}），较小的一个尺寸称为下极限尺寸 D_{min}（d_{min}）。如图 10-41b 示出了轴 $\phi30$ 的上极限尺寸为 $\phi29.993$，下极限尺寸为 $\phi29.980$。实际尺寸只要在这两个极限尺寸之间均为合格。



a) b)

图 10-41 公称尺寸与极限尺寸

a）公称尺寸及偏差 b）极限尺寸及公差

4）尺寸偏差（简称偏差）。某一尺寸减去公称尺寸所得的代数差。尺寸偏差有上极限偏差、下极限偏差（以下简称上偏差、下偏差）和实际偏差。

$$上偏差 = 上极限尺寸 - 公称尺寸$$

$$下偏差 = 下极限尺寸 - 公称尺寸$$

如图 10-41 所示的轴：

$$上偏差 = (29.993 - 30)\,mm = -0.007mm$$

$$下偏差 = (29.980 - 30)\,mm = -0.020mm$$

国家标准规定用代号 ES 和 es 分别表示孔和轴的上偏差；用代号 EI 和 ei 分别表示孔和轴的下偏差。偏差可以为正、负或零值。

实际尺寸减去公称尺寸的代数差称为实际偏差。零件尺寸的实际偏差在上、下偏差之间均为合格。

5）尺寸公差（简称公差）。允许尺寸变动的量。孔公差用 T_h 表示，轴公差用 T_s 表示，即

$$公差 = 上极限尺寸 - 下极限尺寸$$

或

$$公差 = 上偏差 - 下偏差$$

如图 10-41 所示的轴：

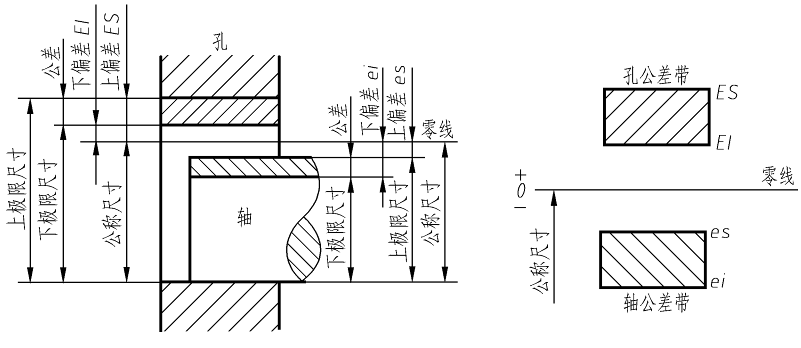
$$公差 = (29.993 - 29.980)\,mm = 0.013mm$$

或

$$公差 = [-0.007 - (-0.020)]\,mm = 0.013mm$$

在零件图上，凡有公差要求的尺寸，通常不是标注两个极限尺寸，而是标注出公称尺寸和上、下偏差，见图 10-41a，虽然两者实质上一样，但后者用得多。

6）尺寸公差带（简称公差带）。公差带表示公差大小和相对于零线位置的一个区域。图 10-42a 表示了一对互相结合的孔与轴的公称尺寸、极限尺寸、偏差、公差的相互关系。为简化起见，一般只画出



a) b)

图 10-42 尺寸公差、尺寸偏差及公差带

a）尺寸公差、尺寸偏差及公差 b）公差带表示法

孔和轴的上、下偏差围成的方框简图，称公差带图，见图 10-42b。在公差带图中，零线是表示公称尺寸的一条直线。当零线画成水平线时，正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方，偏差值的单位为微米。且孔的公差带与轴的公差带分别用相反斜线表示。

（2）标准公差和基本偏差　为便于生产，实现零件的互换性及满足不同的使用要求，国家标准 GB/T 1800—2009《极限与配合》规定了公差带由标准公差和基本偏差两个要素组成。标准公差确定公差带的大小，而基本偏差确定公差带的位置，见图 10-43。

1）标准公差（IT）。标准公差的数值由公称尺寸和公差等级来决定。其中公差等级是确定尺寸精确程度的等级。标准公差分为 20 级，即 IT01、IT0、IT1、…、IT18。其尺寸精确程度从 IT01 到 IT18 依次降低。应该注意的是，属于同一公差等级的公差，对所有公称尺寸，其数值并不相同，但被认为具有同等的精确程度。标准公差的具体数值参见附录 21。

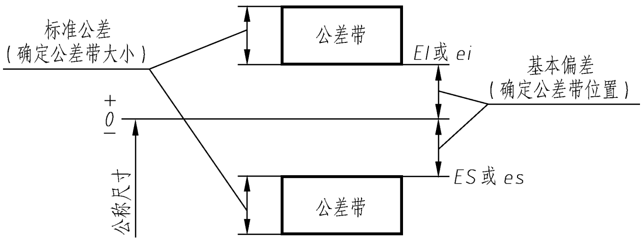


图 10-43　公差带大小及位置

2）基本偏差。基本偏差一般是指上下两个偏差中靠近零线的那个偏差。即当公差带位于零线上方时，基本偏差为下偏差；当公差带位于零线下方时，基本偏差为上偏差，见图 10-43 和图 10-44。

为了满足各种实际产品的不同配合要求，国家标准对孔和轴均规定了 28 个不同的基本偏差。基本偏差代号用拉丁字母表示，大写字母表示孔，小写字母表示轴，图 10-44 是孔和轴的 28 个基本偏差系列图（图中各基本偏差的具体数值见国家标准 GB/T 1800. 2—2009 表 2 ~ 表 32）。

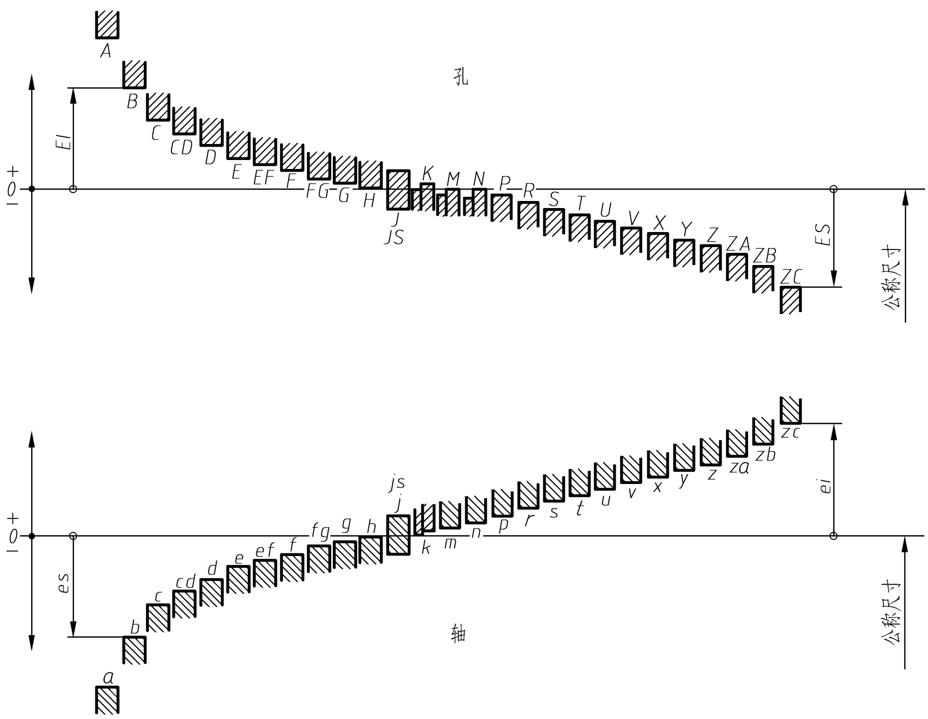


图 10-44　基本偏差系列图

从基本偏差系列图可知，轴的基本偏差从 a 到 h 为上偏差（es），且是负值，其绝对值依次减小；从 j 到 zc 为下偏差（ei），且是正值，其绝对值依次增大。孔的基本偏差从 A 到 H 为下偏差（EI），且

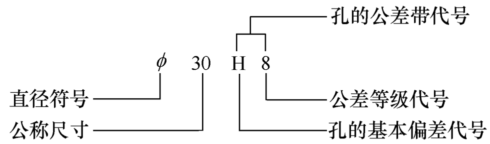
是正值，其绝对值依次减小，从 J 到 ZC 为上偏差（ES），且是负值，其绝对值依次增大；其中 H 和 h 的基本偏差为零。JS 和 js 对称于零线，没有基本偏差，其上、下偏差分别为 $+\frac{IT}{2}$和 $-\frac{IT}{2}$。

基本偏差系列图只表示了公差带的各种位置，所以只画出属于基本偏差的一端，另一端则是开口的，即公差带的另一端取决于标准公差（IT）的大小。

（3）公差带代号　孔、轴的公差带代号由基本偏差代号和公差等级代号组成。

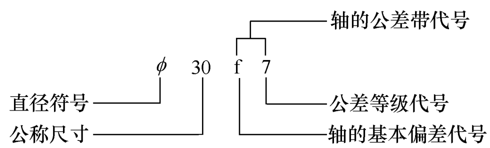
例 10-1　试说明 ϕ30H8 的含义。

其含义为公称尺寸为 ϕ30mm，孔的基本偏差为 H，公差等级为 8 级，从附录 24 中可查得 ϕ30H8 的上、下偏差分别为 +0.003mm 和 0，故用极限偏差表示时，ϕ30H8 可写成 $\phi 30^{+0.033}_{0}$mm。



例 10-2　试说明 ϕ30f7 的含义。

其含义为公称尺寸为 ϕ30mm，轴的基本偏差为 f，公差等级为 7 级，从附录 23 中可查得 ϕ30f7 的上、下偏差分别为 −0.020mm 和 −0.041mm，故用极限偏差表示时，ϕ30f7 可写成 $\phi 30^{-0.020}_{-0.041}$mm。



3. 配合

公称尺寸相同的相互结合的孔和轴（或具有两个平行平面的线性尺寸要素）装在一起，可以通过改变孔和轴的公差带的大小和相互位置来达到所要求的松紧程度，以满足各种不同的使用要求。这种相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。孔和轴配合时，由于实际尺寸不同，可能产生间隙或过盈，见图 10-45。当孔的实际尺寸大于轴的实际尺寸时，就产生间隙；反之，当孔的实际尺寸小于轴的实际尺寸时，就产生过盈。

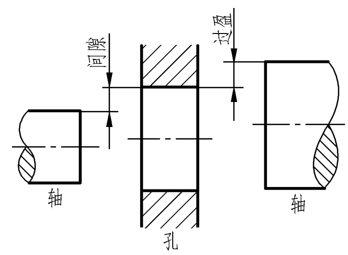


图 10-45　间隙与过盈

（1）配合的种类　根据零件之间配合的松紧程度，配合可分为三大类。

1）间隙配合。孔的公差带全部在轴的公差带之上，任取一对孔和轴配合都具有间隙（包括最小间隙为零）的配合，见图 10-46。

最大间隙 = 孔的上极限尺寸 − 轴的下极限尺寸

最小间隙 = 孔的下极限尺寸 − 轴的上极限尺寸

2）过盈配合。孔的公差带全部在轴的公差带之下，任取一对孔和轴配合都具有过盈（包括最小过盈为零）的配合，见图 10-47。

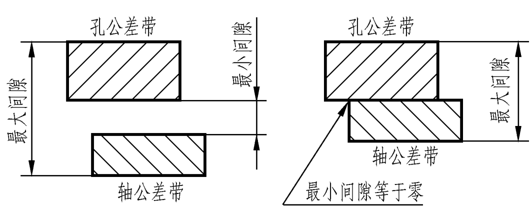


图 10-46　间隙配合

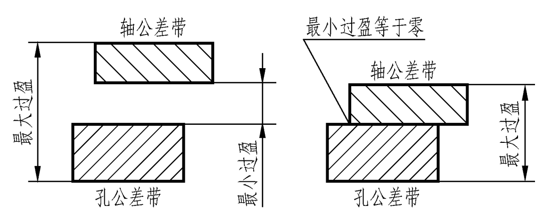


图 10-47　过盈配合

最大过盈 = 孔的下极限尺寸 – 轴的上极限尺寸

最小过盈 = 孔的上极限尺寸 – 轴的下极限尺寸

3）过渡配合。孔的公差带和轴的公差带互相交叠，任取一对孔和轴配合时，可能产生间隙，也可能具有过盈的配合，见图 10-48。

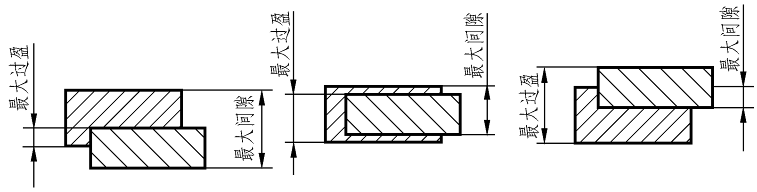


图 10-48　过渡配合

过渡配合一般只计算最大间隙和最大过盈。

最大间隙 = 孔的上极限尺寸 – 轴的下极限尺寸

最大过盈 = 孔的下极限尺寸 – 轴的上极限尺寸

过渡配合可能具有间隙，也可能具有过盈性质，但对装配好的一对零件，只能产生一种结果。

（2）基准制　在制造配合的零件时，使其中一种零件作为基准件，它的基本偏差一定，通过改变另一种非基准件的基本偏差来获得各种不同性质的配合的制度称为基准制。采用基准制可使设计、制造简化，取得较大的技术经济效果。根据生产实际的需要，国家标准规定了两种基准制。

1）基孔制。基孔制是指基本偏差为一定的孔的公差带与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度，见图 10-49。基孔制的孔称为基准孔，其基本偏差代号为 H，下偏差为零。

2）基轴制。基轴制是指基本偏差为一定的轴的公差带与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度，见图 10-50。基轴制的轴称为基准轴，其基本偏差代号为 h，上偏差为零。

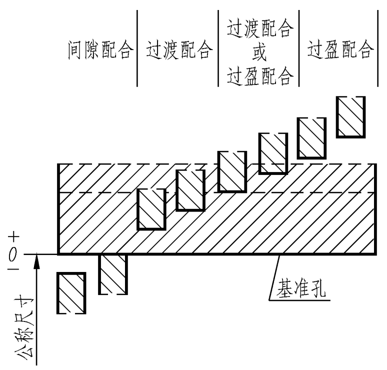


图 10-49　基孔制配合

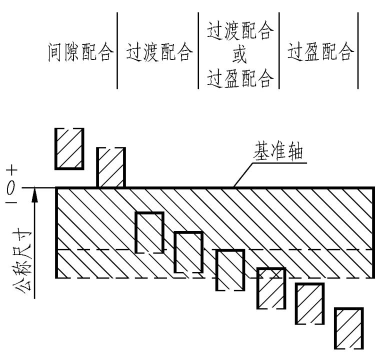


图 10-50　基轴制配合

（3）配合代号　配合代号由孔和轴的公差带代号组成，写成分数形式，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号。凡是分子中含 H 的为基孔制配合，凡是分母中含 h 的为基轴制配合。

例 10-3　试说明 $\phi 25\,\dfrac{H7}{g6}$的含义。

该配合的公称尺寸为 ϕ25mm，是基孔制的间隙配合，基准孔的公差带为 H7（基本偏差为 H，公差等级为 7 级），轴的公差带为 g6（基本偏差为 g，公差等级为 6 级）。

例 10-4　试说明 $\phi 25\,\dfrac{N7}{h6}$的含义。

该配合的公称尺寸为 ϕ25mm，是基轴制过渡配合，基准轴的公差带为 h6（基本偏差为 h，公差等级为 6 级），孔的公差带为 N7（基本偏差为 N，公差等级为 7 级）。

4. 公差与配合的标注

（1）零件图上的标注方法　零件图上的尺寸公差可按下面三种形式之一标注：

1）在公称尺寸右边注出公差带代号，见图 10-51a。

2）在公称尺寸右边注出极限偏差，见图 10-51b。

3）在公称尺寸右边注出公差带代号和相应的极限偏差，但极限偏差应加上括号，见图 10-51c。

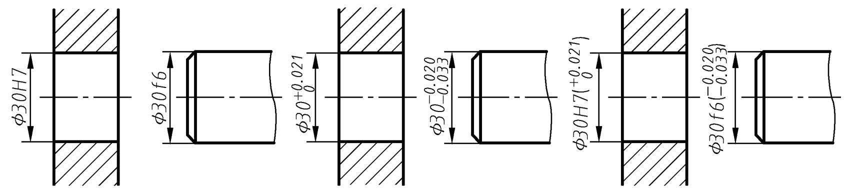


图 10-51　零件图上尺寸公差标注方法

a）公称尺寸右边注出公差带代号　b）在公称尺寸右边注出极限偏差

c）公称尺寸右边注出公差带代号和相应的极限偏差

当标注极限偏差时，上、下偏差的小数点必须对齐，小数点后的位数也必须相同；当上偏差或下偏差为“零”时，用数字“0”标出（不加正、负号），并与上偏差或下偏差的小数点前的个位数对齐。当公差带相对于公称尺寸对称配置，即两个偏差绝对值相同时，偏差只需注写一次，并应在偏差与公称尺寸之间注出符号“±”，且两者数字高度相同。

（2）装配图上的标注方法　装配图上两结合零件有配合要求时，应在公称尺寸右边注出相应的配合代号，其注写形式为图 10-52 中的三种形式之一。

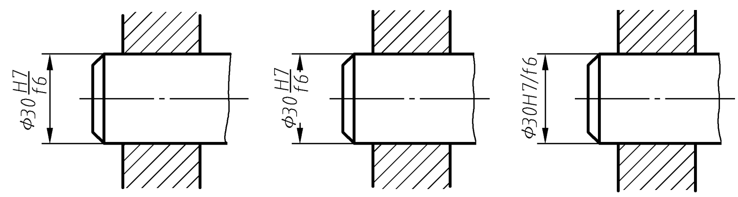


图 10-52　装配图上配合的标注

三、几何公差（GB/T 1182—2008）

1. 几何公差的基本概念

零件经加工后，不仅会存在尺寸的误差，而且会产生几何形状及相互位置的误差。如图 10-53 所示的圆柱体，即使在尺寸合格时，也有可能出现一端大、另一端小，或中间细、两端粗等情况，其截面也有可能不圆，这属于形状方面的误差。再如图 10-54 所示的阶梯轴，加工后可能出现各轴段不同轴线的情况，这属于位置方面的误差。所以，形状公差是指实际形状对理想形状的允许变动量。位置公差是指

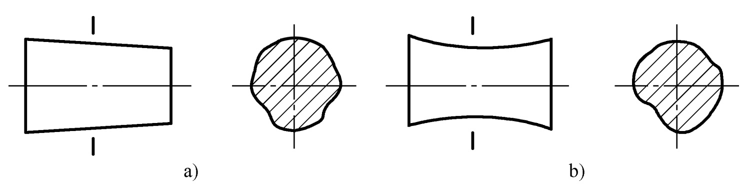


图 10-53　形状误差

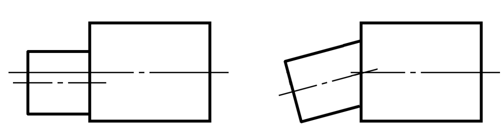


图 10-54　位置误差

实际位置对理想位置的允许变动量。

2. 几何公差各项目的名称和符号

几何公差包括形状公差、方向公差、位置公差和跳动公差 4 类，共 19 个项目。各项目的名称和符号见表 10-6。

表 10-6　几何公差各项目的名称和符号

公差类型	几何特征	符　　号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	▱	无
	圆度	○	无
	圆柱度	⌭	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌓	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度（用于中心点）	◎	有
	同轴度（用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

3. 几何公差代号

（1）代号的组成　几何公差代号见图 10-55，它由如下内容组成：

1）带箭头的指引线。

2）公差框格。

3）几何公差项目符号、公差数值和有关符号。

4）基准符号

（2）代号的画法　公差框格应用细实线水平绘制，并根据需要分为两格或多格，填写内容及顺序见图 10-55，框格中的数字和字母的高度应与图样中尺寸数字的高度相同，框格长度可按需要确定，见图 10-56。

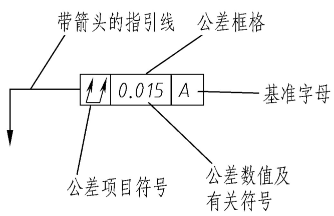


图 10-55　几何公差代号组成

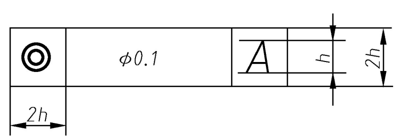


图 10-56　框格的画法

4. 几何公差的标注

国家标准明确规定，在技术图样中，几何公差一般应采用代号标注，现将具体标注方法摘要介绍如下：

1）代号中的指引线箭头与被测要素的连接方法。当被测要素为线或表面时，指引线的箭头应指在该要素的轮廓线或其延长线上，并应明显地与尺寸线错开，见图 10-57a。当被测要素为轴线或中心平面时，指引线的箭头应与该要素的尺寸线对齐，见图 10-57b。

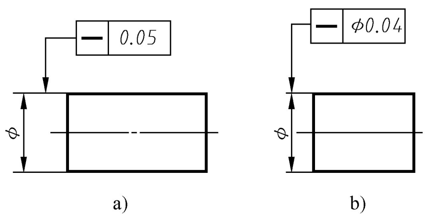


图 10-57　指引线箭头与被测要素的相连方法
a）被测要素为线或表面时
b）被测要素为轴线或中心平面时

2）采用基准符号标注时，此时公差框格应为三格或多格，以填写基准符号的字母，见图 10-58。

基准符号由基准三角形（一个涂黑的或空白的三角形）、方格、连线和字母组成，其画法见图 10-59，方格和连线用细实线画，方格高度和框格的高度相同，方格内填写大写的拉丁字母，字母一律水平书写，字母高度应与图样中的尺寸数字的高度相同。

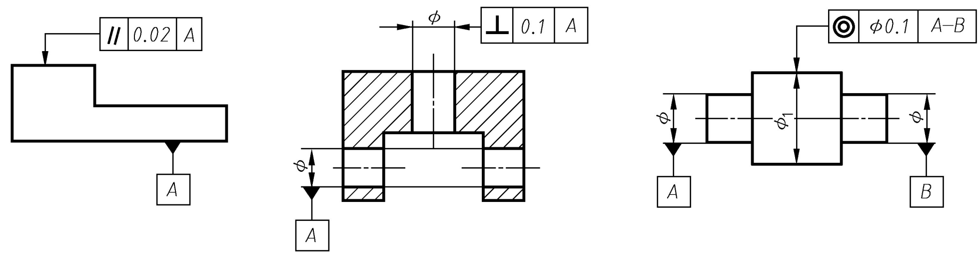


图 10-58　采用基准符号的标注方法

3）当同一个被测要素有多项几何公差要求，其标注方法又一致时，可以将这些框格画在一起，共用一根指引线箭头，见图 10-60。

4）若多个被测要素有相同的几何公差（单项或多项）要求时，可以在从框格引出的指引线上绘制多个箭头并分别与各被测要素相连，见图 10-61。

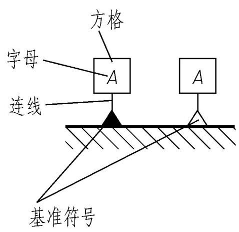


图 10-59　基准符号的组成及画法

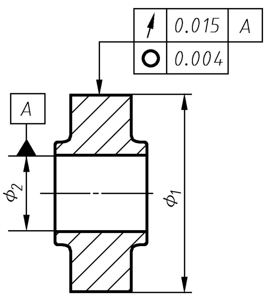


图 10-60　共有箭头注法

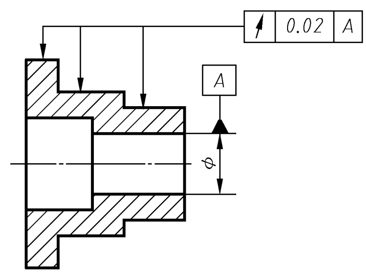


图 10-61　共用指引线注法

5）如果给出的公差仅适用于要素的某一指定局部，应采用粗点画线示出该局部的范围，并加注尺寸，见图 10-62 及图 10-63。

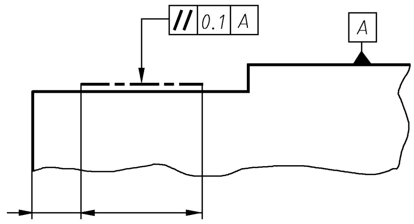


图 10-62　局部平行度标注

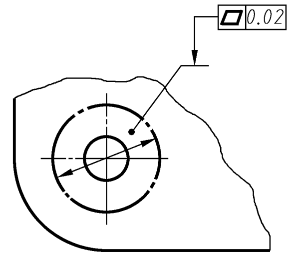


图 10-63　局部平面度标注

6）需要对整个被测要素上任意限定范围标注同样几何特征的公差时，可在公差值的后面加注限定范围的线性尺寸值，并在两者间用斜线隔开，见图 10-64。

—	0.05/200

图 10-64　任意限定范围标注

第六节　零件图的读法

在机械设计和制造过程中，经常需要阅读零件图。如在设计零件时，往往要参阅同类产品的零件图；在制造零件时，必须先读懂零件图，才能采用合理的制造工艺。又如审核设计图样时，也需要阅读零件图。所以，掌握读零件图的正确方法，以提高读图的能力，是十分重要的。

一、读零件图的方法和步骤

读零件图，就是根据零件图想象出零件的结构形状，并了解零件各部分的尺寸及技术要求等，具体步骤和要求如下：

1. 概括了解

读零件图时，应先从标题栏中了解零件的名称、材料、比例等内容，能联想出该零件在机器中的作用和一些应有的结构形状特点，这对下面的深入读图往往很有帮助。

2. 分析视图，对照投影关系，想象出零件的结构形状

1）找出主视图，并确定相应的基本视图。主视图是零件表达的核心，找出了主视图，随之即可确定出相应的基本视图。由于基本视图是零件表达的重点，视图之间的配置关系清晰，读图时可充分利用“长对正，高平齐，宽相等”的投影关系，方便读图，了解到零件的主要结构形状。

2）分析其他视图及其表达方法，搞清楚视图之间的关系。对图样中的局部视图、斜视图，局部放大图、剖视、断面等，应运用图中标注的视图名称的字母、投射方向的箭头和剖切位置符号等，明确各视图间的对应投影关系，为进一步仔细阅读做好准备。

3）分析投影，逐步阅读，想象出整体。利用形体分析的方法，将零件大致分为几个独立部分，按先读主要部分，再读次要部分，先读外形再读内形的顺序逐个读懂。再根据各个部分的相互位置，想象出零件的整体结构形状。

3. 分析尺寸

读零件图的尺寸时，先找出该零件长、宽、高三个方向的尺寸基准，并从基准出发搞清哪些尺寸是重要尺寸；再根据形体分析和结构分析找出各结构形状的定形尺寸和定位尺寸以及零件的总体尺寸；最后综合分析各部分尺寸关系。

4. 了解技术要求

通过图样中所注的尺寸公差、几何公差、表面粗糙度及其他有关的文字、符号、说明等，了解该零件的各项技术要求。

5. 归纳总结

综合上述分析，把视图、尺寸、技术要求等联系起来全面考虑，发现有遗漏或错误之处要加以补充和更正，有结构和工艺不合理处要加以改进等。

二、读零件图举例

读蜗轮蜗杆减速器箱体零件图，见图 10-65。

1. 概括了解

从标题栏知零件的名称为箱体，材料为铸铁（牌号 HT200），比例为 1∶4，并结合配套图样、资料

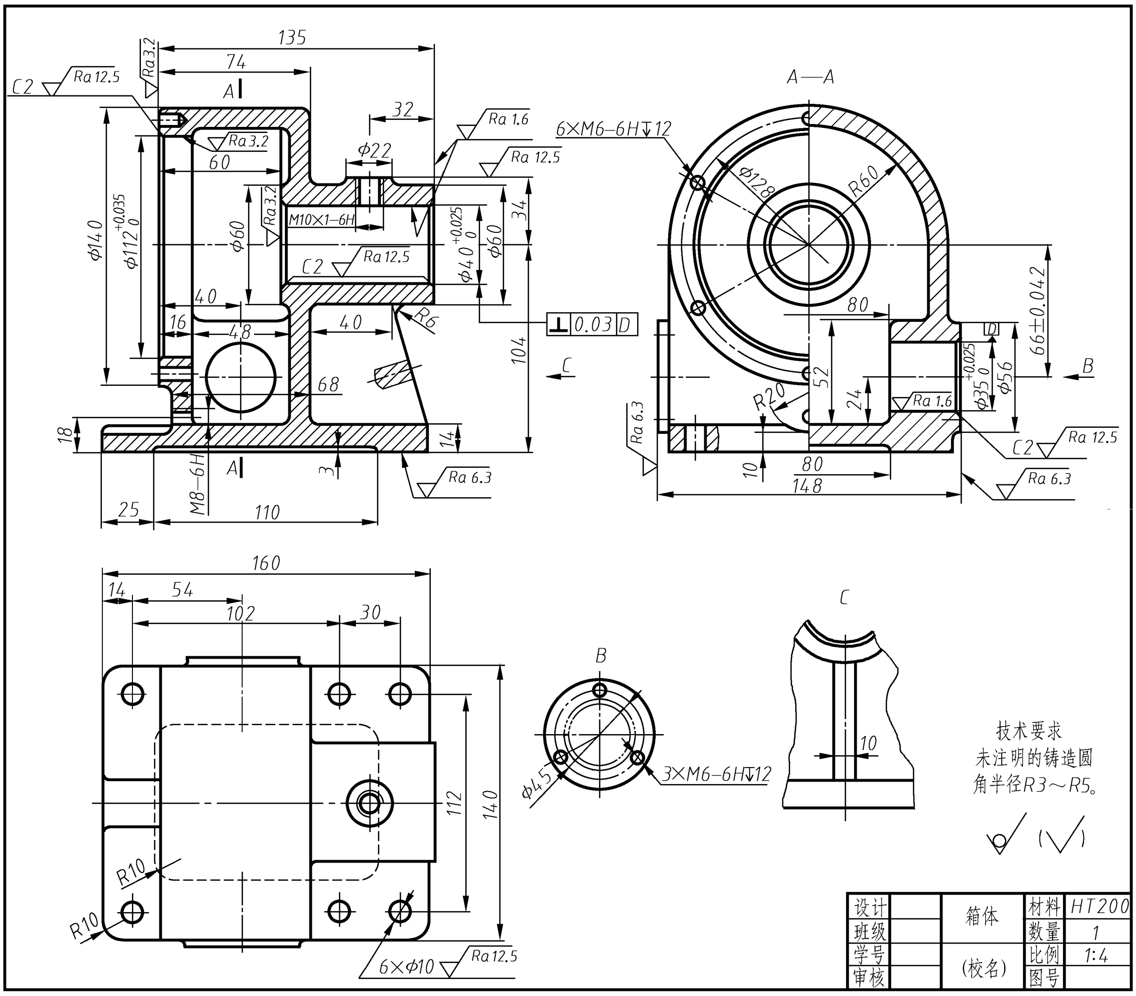


图 10-65　箱体零件图

等了解到该箱体为蜗轮蜗杆减速器的主体零件，用来安装和支承蜗轮、蜗杆轴等零件。零件具有铸件的结构特点。

2. 分析视图，对照投影，想出整体

从零件图的视图配置关系即可判断出主视图的位置。该零件选用了主、左、俯三个基本视图，其中主视图为全剖视图，左视图为半剖视图，俯视图为外形图。主视图的全剖视，由于满足剖切平面通过零件前后的对称平面等条件，所以省略了标注。左视图的半剖视则可从 *A—A* 的标注找到剖切平面的剖切位置。图中还采用了 *B* 向和 *C* 向两个局部视图，它们和基本视图间的关系可从主视图右方及左视图右方所标的箭头和字母明确对应的投影关系。在主视图中还采用了一个重合断面表达肋的断面形状。左视图中有一个局部剖视表达底板上的通孔。

当明确了表达零件的各个视图间的配置及对应关系后，可按形体分析方法，从主视图入手，利用视图表达的特征，将箱体大致分为四个部分：左方为一带腔的壳体，右上方为一用作轴承座的空心圆柱体，下方为安装底板，右下方为连接底板、壳体和轴承座的肋板。

对上述四个部分再逐个分析并细读：从主视图对照 *A—A* 左视图和俯视图阅读，可知壳体外形的上部为半圆形，下部为长方形，内腔亦是相似的拱门形状。壳体上部的圆柱形内腔用于安装蜗轮，对照左视图可知壳体左端面上有六个螺孔供与箱盖连接之用，壳体下部为了支承蜗杆轴，所以在前、后都开有轴孔，该轴孔的端面凸缘外形可从 *B* 向视图看出，且端面上有三个均布的螺孔，螺孔的深度用尺寸 3 × M6-6H↧12 标出。右上方的圆柱体中空的轴孔主要用于支承蜗轮轴，其上方的螺孔及凸台是用来安装油

杯的。下部底板可从主、俯、左视图看出为一带圆角的长方形板，在板的底部有一带圆角的长方形凹槽，底板上还有六个装螺栓的通孔，供减速器安装到其他部件上。右下方的梯形肋板用来加强箱体各部分连接的刚性，它的形状和位置可从主视图上的重合断面及 C 向局部视图看清楚。

通过上述对箱体各组成部分的结构形状分析，再参照各部分的相互位置关系，即可想象出箱体的整体结构形状，见图 10-66。

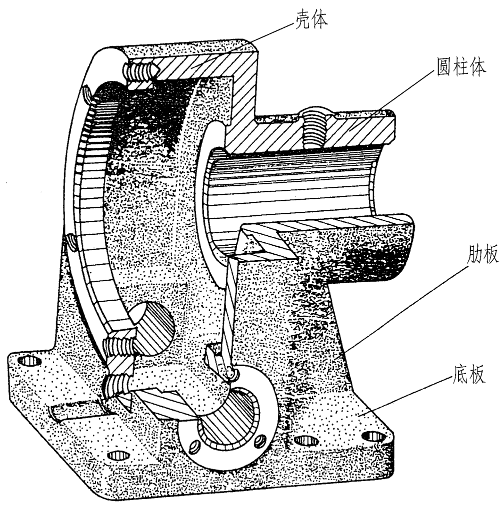


图 10-66　箱体轴测图

3. 分析尺寸

首先找出长、宽、高三个方向的尺寸基准。经分析可知，长度方向主要尺寸基准是蜗杆轴轴孔的左右对称面（主视图中壳体下方圆孔的左右对称线，俯视图中蜗杆轴孔的轴线）；宽度方向尺寸基准为箱体的前后对称平面（俯、左视图中的中心对称线）；高度方向的尺寸基准是蜗轮轴轴孔的轴线和底板安装底面（主、左视图中上部的水平轴线及底面）。从这些基准出发所注的尺寸均是箱体的主要尺寸，如长度方向的尺寸 48、54、40、68，宽度方向的尺寸 80、112、140、148，高度方向的尺寸 104、66 ±0.042等。

再分析出零件图中其他重要尺寸，这些尺寸将影响到蜗轮蜗杆的啮合传动情况及箱体和其他零件的连接。如图中轴孔的直径尺寸 $\phi40^{+0.025}_{0}$、$\phi35^{+0.025}_{0}$，蜗轮蜗杆的中心距 66 ±0.042，左端凸缘孔径 $\phi112^{+0.035}_{0}$等。

从图中还看出，该零件的总体尺寸为 160×148×174，其中总高 174 由（104+140/2）求得。

最后，再用形体分析方法检查各定形、定位尺寸是否齐全。

4. 了解技术要求

对公差、表面粗糙度及其他技术要求作进一步的了解。如图中注有尺寸公差的尺寸多为配合尺寸，体会其选用要求及其合理性；有无几何公差，其要求如何，例如图 10-65 中对蜗杆的轴孔注出了垂直度的要求等。在图 10-65 中，对各接触表面都标注了相应的表面粗糙度代号，从而知道加工后应达到的要求，由图右下角的代号知道其他未注的表面不需加工。图的右下方的技术要求，说明了箱体的铸造圆角均为 $R=3\sim5$。

第七节　四类典型零件分析

零件的结构形状是根据零件的作用及工艺要求而定的，虽然零件的种类很多，其结构形状也各有不同，但从其用途来分，可归纳为轴、套类，轮、盘类，箱、壳类和叉、架类四类典型的零件，每类零件

的结构、工艺、表达及尺寸标注等都有其共同的特点。了解这些特点，有利于画图和读图。今将各类典型零件的分析列表于 10-7 中。

表 10-7　四类零件的结构和工艺特点以及视图表达和尺寸标注特点

零件种类	零件举例	结构和工艺特点	视图表达特点	尺寸标注特点
轴、套类	轴、销、套筒等（图 10-2）	该类零件主要由共轴的回转体构成；零件上常有中心孔、螺纹、键槽、销孔、倒角、圆角、退刀槽等 机械加工以车、磨为主	主视图常按其主要加工位置（轴线水平）放置 基本视图往往只需一个，其局部结构常用剖面、局部视图和局部放大图等方式表达	回转轴线既是其径向的设计基准，也是车、磨时的工艺基准。轴向除有设计基准外，还有工艺基准 有些局部结构如中心孔、键槽、退刀槽等的尺寸已经标准化
轮、盘类	带轮、端盖等（图 10-67）	与轴类零件相似，但轴向长度较短，且常有较大的、与其他零件相结合的端面，四周有安装孔，还常有轮辐、肋等结构 坯料多为铸、锻件，加工以车削为主	与轴类相似，主视图将轴线水平放置，一般需两个基本视图，且常采用单一剖、旋转剖和复合剖的全剖视图	轴向尺寸常以相邻零件的接触面为基准；径向尺寸以轴线为设计基准和工艺基准 标注尺寸时要考虑铸造工艺及各种加工的基本要求
箱、壳类	箱体、外壳等（图 10-65）	常有内腔、轴孔和大的基准平面，内外部结构形状随其作用和其相邻零件而定 该类零件多为铸件，加工位置多变	主视图常按其工作位置放置，基本视图常需两个以上，并广泛应用各种视图和剖视图，表达方式灵活	常选零件的底面、结合面、端面、对称面和主要孔的轴线为基准 标注尺寸时要考虑铸造工艺及各种加工的基本要求
叉、架类	各种拨叉、支架等（图 10-68）	结构形状不规则，有时弯曲，有时倾斜；常有肋、各种孔、凸台等结构。零件多为铸、锻件，加工位置多变	主视图常遵循形状特征原则，基本视图一般需两个以上，并常选用斜视图、斜剖视、局部视图、局部剖视和断面等表达方式	常以主要孔的中心线，主要的工作面、端面和对称面作尺寸基准 对弯曲、倾斜等不规则结构，要根据设计要求结合尺寸分析标注尺寸 尺寸标注时应考虑铸造工艺及各种加工的基本要求

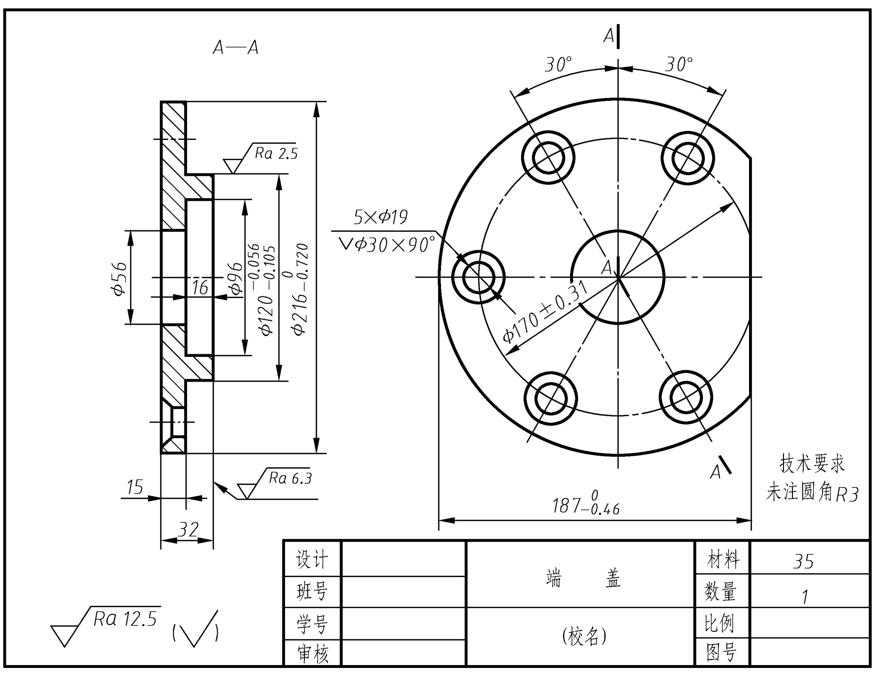
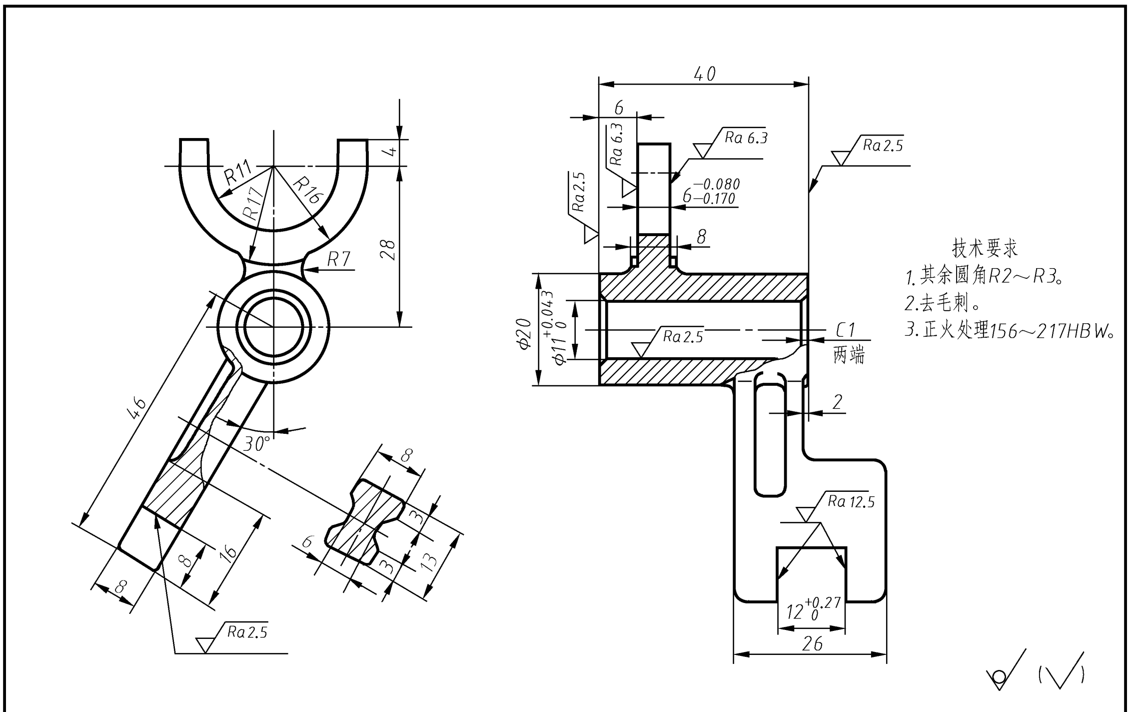


图 10-67　端盖零件图



设计		拨　叉	材料	KTH350-10
班号			数量	1
学号		(校名)	比例	
审核			图号	

图 10-68　拨叉零件图

第十一章　装　配　图

第一节　概　　述

一、什么是装配图

一台机器或一个部件都是由若干个零（部）件按一定的装配关系装配而成的。如图 11-1 所示的滑动轴承，是由轴承座、轴承盖、衬套、螺栓、螺母、油杯等装配而成。图 11-2 所示则为该产品及其组成部分的连接、装配关系的图样，称为装配图。

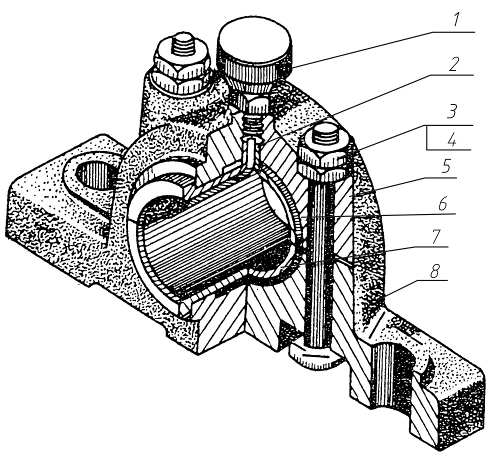


图 11-1　滑动轴承轴测图

1—油杯　2—套　3—螺母　4—螺栓　5—轴承盖　6—上轴衬　7—下轴衬　8—轴承座

二、装配图的作用

在设计过程中，设计者为了表达产品的性能、工作原理及其组成部分的连接、装配关系，一般先要画出装配图，然后再根据装配图画出零件图。在生产过程中，生产者则是根据装配图制订装配工艺规程，进行装配和检验。在使用过程中，使用者又是通过装配图了解机器或部件的构造，以便正确使用和维修。所以，装配图是设计、制造、使用、维修以及技术交流的重要技术文件。

三、装配图的内容

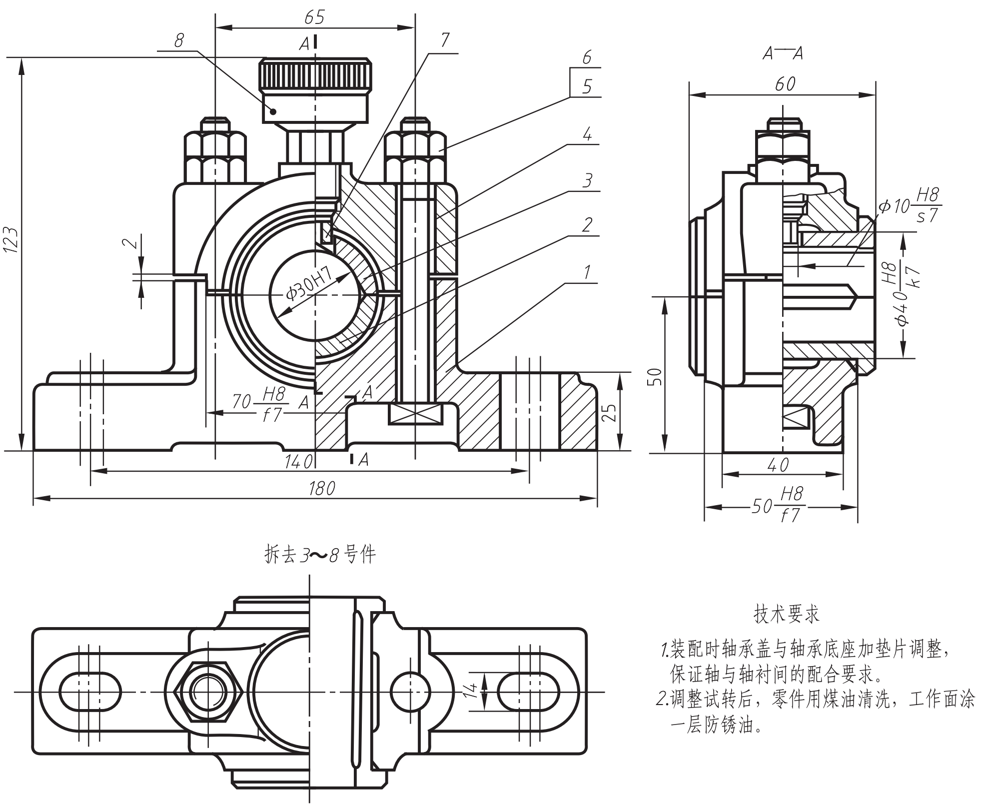
从上述装配图的作用，并参照图 11-2 所示的滑动轴承装配图，可以看出一张完整的装配图一般应具有下列内容：

1. 一组视图

选用一组恰当的视图表达出机器或部件的工作原理，各零件间的装配、连接关系和零件的主要结构形状等。

2. 几类尺寸

装配图中的尺寸一般只标注机器或部件的规格尺寸、外形尺寸、装配尺寸、安装尺寸以及其他重要



技术要求

1.装配时轴承盖与轴承底座加垫片调整，保证轴与轴衬间的配合要求。

2.调整试转后，零件用煤油清洗，工作面涂一层防锈油。

序号	代 号	名 称	数量	材 料	备注
8	GB/T 1154—1989	油杯A12	1		
7		轴衬固定套	1	Q235	
6	GB/T 6170—2000	螺母M10	4	Q235	
5	GB/T 35—1988	小方头螺栓M10×90	2	Q235	
4		轴承盖	1	HT150	
3		上轴衬	1	ZCuAl9Mn2	
2		下轴衬	1	ZCuAl9Mn2	
1		轴承座	1	HT150	

设计		滑动轴承	材料	
班号			数量	1
学号		(校名)	比例	
审核			图号	

图 11-2　滑动轴承装配图

尺寸。

3. 技术要求

用文字或符号说明机器或部件的性能、装配、调试和使用等方面的要求。

4. 零件的序号、明细栏及标题栏

序号是将装配图中各组成零件按一定格式编号。明细栏用作填写零件的序号、代号、名称、数量、材料、质量、备注等。标题栏的内容、格式、尺寸等已经标准化，且与零件图的标题栏完全一样，主要填写机器或部件的名称、代号、比例及有关人员的签名等。

第二节　装配图的表达方法

装配图和零件图的表达方法基本相同，所以，前面所介绍的零件图的各种表达方法，如视图、剖视、断面、简化画法等都适用于装配图的表达。但装配图的表达对象、要求和作用均不同于零件图。装配图表达的对象是机器或部件整体，要求表达清楚工作原理及各组成零件间的装配关系，其作用是指导装配、调试、维修、保养等。而零件图表达的对象是单个零件，要求表达清楚结构形状及大小，其作用是指导零件的生产。所以，针对装配图的特点，还有一些规定画法和特殊表达方法。

一、规定画法

1. 接触面、配合面的画法

为了明确零件表面间的相互关系，在装配图中，凡相邻两零件的接触表面或公称尺寸相同的配合表面，只画一条轮廓线，否则应画出两条线，以表示各自的轮廓线，见图11-3。

2. 剖面线的画法

为了清楚地区分不同的零件，在装配图中相互邻接的两金属零件的剖面线，其倾斜方向应相反，或方向一致而间隔不等，互相错开，见图11-4。而同一装配图中的同一零件的剖面线应方向相同、间隔相等，见图11-2。

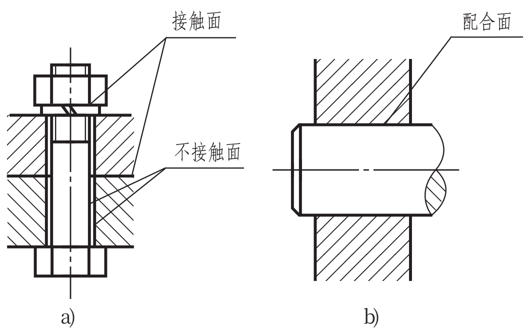


图11-3　接触面和配合面画法

a）接触面画法　b）配合面画法

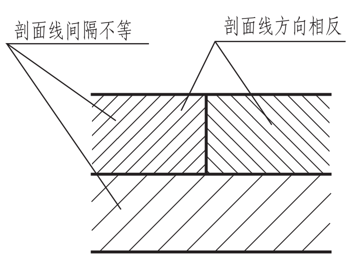


图11-4　剖面线的画法

3. 紧固件和实心件的画法

为了画图简便和图面清晰，在装配图中，对螺栓、螺母、螺钉、螺柱、垫圈等紧固件及轴、杆、键、销、球、钩子、手柄等实心零件，若按纵向剖切，且剖切平面通过其对称平面或轴线时，这些零件均按不剖绘制。若这些零件上有销孔、键槽、凹槽等结构需要表明时，可采用局部剖视来表达，见图11-2和图11-5。

二、特殊表达方法

1. 拆卸表示法

在装配图中的某个视图上常有一个（或几个）零件遮住部件的内部构造及其他零件的情况，若需要表达这些被遮挡部分时，可假想将遮挡零件拆卸后再画，当需要说明时，应在视图上方标注“拆去××”，如图11-2中的俯视图。在装配图中，当某个标准部件在一个视图上已经表达出来时，则在其他

视图上可以拆去不画，如图 11-2 左视图中的油杯拆去未画。在装配图中，亦可假想沿某些零件的结合面剖切后再画，如图 11-5 所示转子泵的 *A—A* 剖视图。需要注意拆去某些零件和沿某些零件的结合面剖切，两者在画法上的不同之处。

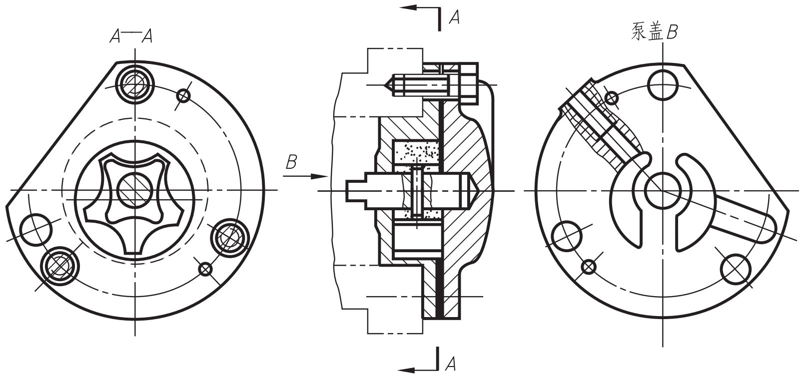


图 11-5　装配图画法的基本规定

2. 假想表示法

在装配图中，若需要表达某些运动零件的极限位置时，可用双点画线画出它们极限位置的外形图。如图 11-6 所示的三星齿轮机构，当改变转速和转向时，手柄所处的Ⅱ、Ⅲ两个极限位置，就是用双点画线画出的假想表示法。

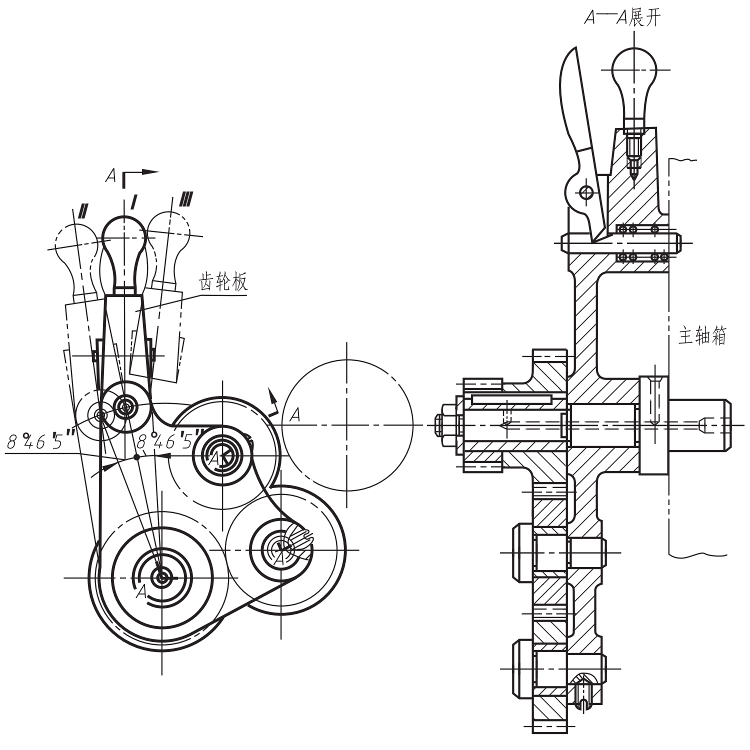


图 11-6　三星齿轮传动机构的假想和展开画法

此外，在装配图中，若需要表达与本部件相关，但又不属于本部件的零件时，亦可采用假想画法，用双点画线画出相关部分的轮廓。如图 11-6 所示的三星齿轮传动机构装配图中，不属于该部件的主轴箱和图 11-5 中安装转子泵的相邻部件，都是用双点画线画出的假想表示法。

3. 单个零件表示法

在装配图中，若某个零件需要表达的结构形状未能表达清楚时，可单独画出该零件的某一视图，但

必须在所画视图的上方注出该零件的视图名称，在相应视图的附近用箭头指明投射方向，并注上同样的字母，如图 11-5 中的泵盖 *B* 向。

4. 夸大表示法

在装配图中，当有薄片零件、细丝弹簧、微小间隙等，若按原有比例、尺寸绘制表达不清楚时，可不按原有比例，适当夸大画出，如图 11-5 中的垫片厚度就是夸大画出的。

5. 展开表示法

传动机构的投影常有重叠的情况，为清晰表达传动路线及各轴的装配关系，可用展开表示法，假想沿各轴的传动顺序切开，并依次展开在同一平面内，画出其剖视图。展开表示法必须进行标注，如图 11-6 所示的“*A*—*A* 展开”。

三、简化画法

1）在装配图中，对若干相同的零件组，如螺栓联接、螺钉联接等，允许仅详细地画出一组或几组，而其余则可用中心线（点画线）表示其装配位置，见图 11-5。

2）在装配图中，零件的工艺结构（如小圆角、退刀槽、倒角等）允许省略不画，见图 11-5。

3）在装配图中，紧固件、齿轮、弹簧、滚动轴承等标准零、部件的简化画法见第九章。

4）在装配图中，当剖切平面通过的某些部件为标准产品时，或该部件已由其他图形表示清楚时，可按不剖绘制，如图 11-2 中的油杯。

第三节　装配图的视图选择

装配图的视图选择就是要选用一组恰当的视图，能完全、正确、清晰地表达出机器或部件的功能、工作原理、零件间的装配关系等。通常应按下列步骤进行。

一、对所要表达的机器或部件进行分析

机器或部件是由若干零件按一定的要求装配而成的，它的功能及工作原理是通过零件间的装配关系来实现的，而各零件间的装配关系则由零件间的位置关系、连接关系、配合关系、传动关系来体现。所以，选择视图时，应先从工作原理出发，仔细分析各零件的具体作用，只有分析清楚，才能拟定出合适的视图表达方案。

现以图 11-7 所示的球阀为例。球阀是用于管道中启闭和调节液体流量的部件，工作时扳动扳手带动阀杆旋转，使阀芯通孔改变位置，从而调节通过球阀的流量大小。阀体和阀盖用螺柱和螺母联接。为了密封，在阀杆和阀体间装有密封环和螺纹压环，并在阀芯两侧装有密封圈。可以看出，球阀的装配干线有两条：一条为垂直方向，是扳手的动作传到阀芯的传动路线；另一条是沿阀孔水平轴线的通道干线。此外，还有限制扳手转动角度的限位结构。经上述剖析后，对球阀的传动路线及作用有了清楚的了解，在选择视图时即可针对这些特点考

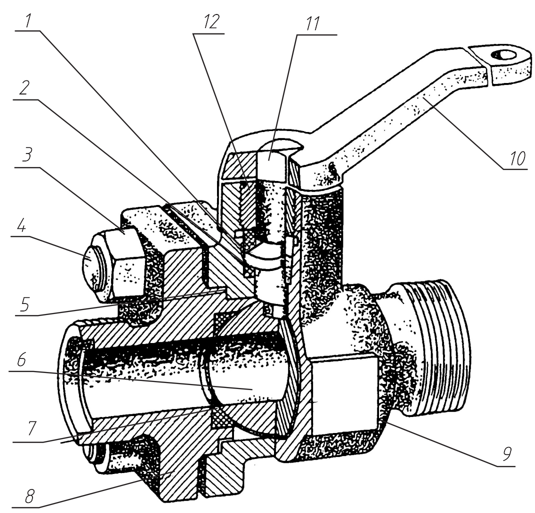


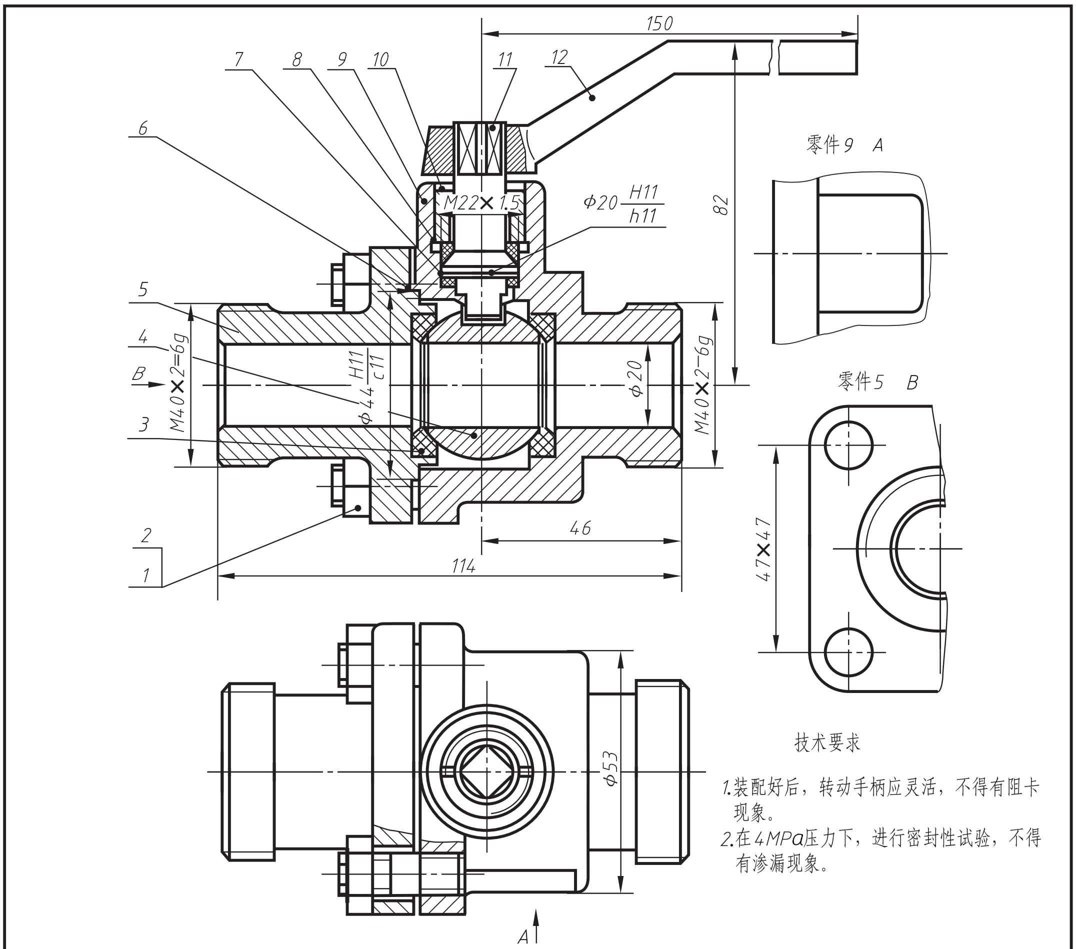
图 11-7　球阀

1—密封环　2—垫　3—螺母　4—螺柱
5—垫片　6—阀芯　7—密封圈　8—阀盖
9—阀体　10—扳手　11—阀杆　12—螺纹压环

虑表达方案。

二、主视图的选择

主视图选择的原则是应能最清楚地反映机器或部件的工作原理和主要干线的装配关系，并尽可能地



序号	代号	名称	数量	材料	备注
12		扳手	1	45	
11		阀杆	1	Cr18Ni12Mn2Ti	
10		螺纹压环	1	25	
9		阀体	1	Cr18Ni12Mn2Ti	
8		密封环	1	聚四氟乙烯	
7		垫	1	聚四氟乙烯	
6		垫片	1	聚四氟乙烯	
5		阀体接头	1	Cr18Ni12Mn2Ti	
4		球心	1	Cr18Ni12Mn2Ti	
3		密封圈	2	聚四氟乙烯	
2	GB/T 897—1988	螺柱M10×20	4		
1	GB/T 6170—2000	螺母M10	4		

设计		球阀	材料	
班号			数量	1
学号		(校名)	比例	
审核			图号	

图 11-8　球阀装配图

符合机器或部件的工作位置。例如上述的球阀经分析后，应考虑重点表达垂直和水平两条装配干线，且知球阀安装在管道中的工作位置一般是阀孔的轴线呈水平位置，且扳手位于正上方，以便于操作，所以，主视图选用通过球阀前后对称平面，即通过两条装配干线（轴线）剖切的全剖视图，并将扳手安在上方，阀孔轴线为水平位置，见图11-8。这样不仅表达出两条主要装配干线，且符合工作位置。

三、其他视图的选择

其他视图选择的目的是补充主视图表达的不足。即当主视图确定后，再从该部件需要表达的内容和要求出发检查哪些装配关系及零件尚未表达或未表达清楚，然后针对具体情况，选择适当的视图、剖视、断面等表达出其他的装配关系、外形及局部结构等。通常，应优先考虑选用基本视图，再考虑选用断面、局部视图等。如图11-8所示的球阀，全剖视的主视图虽清楚地表达了两条主要装配干线，能反映球阀的工作原理，但球阀的外形结构及其他一些装配关系还未表达清楚，所以，选用俯视图反映各主要零件的外形。另外，采用零件9的局部视图，使得阀体的外形表达更加完整；而零件5的 B 向视图不仅更加完整地表达了阀盖的外形，同时也表达了联接螺柱的数量和位置，使得整个视图表达方案简洁明了。

第四节　装配图的尺寸标注

由于装配图主要用于指导装配机器或部件以及设计时拆画零件图，所以，它的尺寸标注要求与零件图的尺寸标注要求不同，它不需要标注每个零件的全部尺寸，只需标注一些必要尺寸，这些必要尺寸可按其作用不同大致归纳为以下几类：

一、规格尺寸

规格尺寸是用以表明机器（或部件）的性能或规格的尺寸。这类尺寸一般在任务书中就已确定，它是设计、了解和选用该机器或部件时的主要依据，如图11-8所示球阀的阀体和阀盖的通孔直径 $\phi20$。

二、装配尺寸

为了保证机器或部件的性能和质量，装配图中需注出相关零件间有装配要求的尺寸。

1. 配合尺寸

凡两零件有配合要求时，必须注出配合尺寸。如图11-8所示球阀的阀体和阀盖的配合尺寸 $\phi44\,\frac{H11}{c11}$，阀杆和阀体的配合尺寸 $\phi20\,\frac{H11}{h11}$等。

2. 重要的相对位置尺寸

装配时，重要的相对位置尺寸是指相关零件间必须保证的距离、间隙等相对位置尺寸。如图11-8所示球阀通孔中心到扳手的距离82，阀杆到右端面的距离46；图11-2所示轴承盖与轴承座之间的间隙2。

3. 连接尺寸

装配图中一般应标注连接的尺寸，以表明螺纹紧固件、键、销、滚动轴承等标准零、部件的规格尺寸（通常填写在明细栏中）。如图11-8中螺纹压环与阀体连接螺纹的尺寸M22×1.5和明细栏中的螺柱M10×20、螺母M10等。

三、安装尺寸

机器或部件安装到其他零、部件或基座上的相关尺寸称为安装尺寸。如图11-8所示球阀的接头尺寸M40×2；图11-2所示滑动轴承座底面安装孔孔距140及安装用长圆形孔尺寸14等。

四、外形尺寸

外形尺寸是机器或部件的总长、总宽、总高尺寸，它反映了机器或部件的总体大小，为安装、包装、运输等提供所占空间的大小。如图 11-8 中的外形尺寸 114 等。

五、其他重要尺寸

其他重要尺寸是指设计中需要保证而又不包括在上述四类尺寸中的重要尺寸，如设计时的计算尺寸、运动零件的位移尺寸、重要零件的主要结构尺寸等。

应该指出：上述几类尺寸经常是互相联系的，一个尺寸有时兼有几种含义，也并不是所有机器或部件都具有这五类尺寸。因此，在装配图上标注尺寸时，应针对具体情况作具体分析，由实际需要加以确定。

第五节　装配图中的零（部）件序号、明细栏和技术要求

一、装配图中的零、部件序号及明细栏

为了满足图样管理、生产准备的要求以及有利于读装配图，在装配图中所有零、部件都必须编写序号并填写相应的明细栏。

1. 序号（或代号）的编写规则（GB/T 4458. 2—2003）

1）在装配图中，相同的零、部件只编写一个序号，如图 11-8 中有四个相同的螺母，但只编一个序号，且装配图中的零、部件序号应与明细栏中的序号一致。

2）序号编写的形式由圆点、指引线、基准线（或圆）及数字组成，见图 11-9a。指引线和基准线（或圆）均为细实线，数字写在基准线上方（或小圆内），数字高度应比尺寸数字高度大一号，指引线应从所指零件的可见轮廓线内引出，并在末端画一圆点；当所指部分不宜画圆点（如很薄的零件或涂黑的断面）时，可在指引线末端画一箭头以代替圆点，见图 11-9b。

3）指引线应尽量分布均匀，彼此不能相交，当通过剖面线区域时，须避免与剖面线平行。必要时，指引线可曲折一次，见图 11-9c。

4）对于一组紧固件（如螺栓、螺母和垫圈）及装配关系清楚的组件，允许采用公共指引线，其编写形式见图 11-9d。

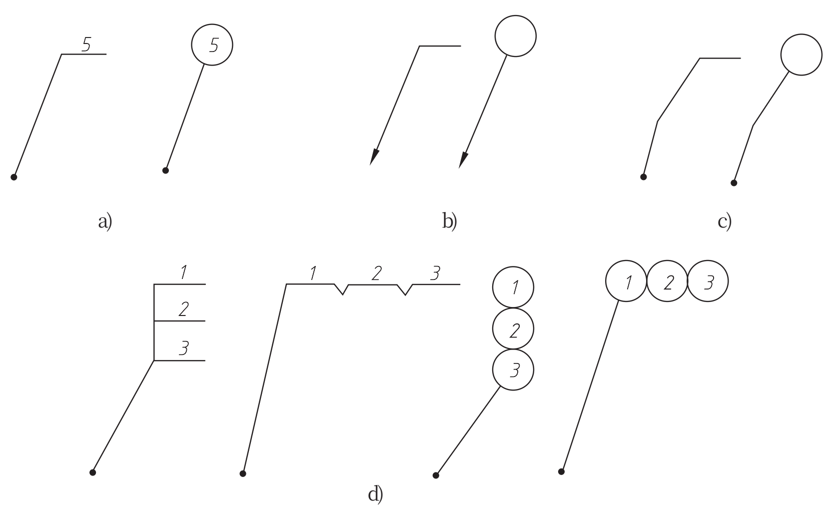


图 11-9　零（部）件序号编写方法

a）一般序号编写的形式　b）箭头代替圆点　c）指引线曲折　d）公共指引线

5）编写图样中的序号时，应按水平或垂直方向排列整齐，可顺时针方向或逆时针方向编号，见图 11-2 及图 11-8。

2. 明细栏

明细栏是说明组成机器或部件的零（部）件的详细目录。在装配图中，明细栏一般配置在标题栏的上方；当标题栏上方的位置不够时，可分段画在标题栏的左方（也可作为装配图的续页单独给出）。其内容、尺寸和格式已经标准化，见图 11-10。学生作业中建议采用图 11-11 所示的简化格式。

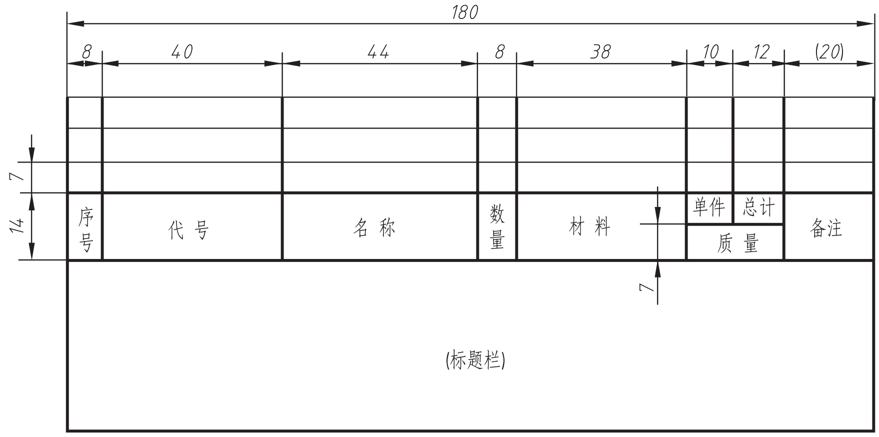


图 11-10 装配图中明细栏格式

明细栏一般由序号、代号、名称、数量、材料、质量（单件、总计）、备注等组成。下面就明细栏的填写说明如下：

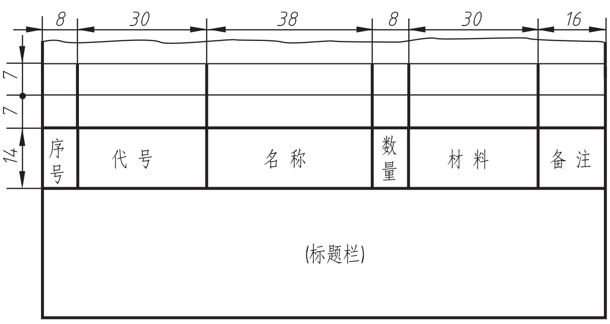


图 11-11 明细栏简化格式

1）序号。填写装配图中零（部）件的序号，并按由下而上的顺序填写，以便在需要增加零件时，可继续向上增添格子。

2）代号。填写图样代号或标准号。

3）名称。填写零（部）件的名称，必要时，也可写出其形式与尺寸，如齿轮的模数和齿数、标准紧固件的规格等。

4）数量。填写零（部）件在装配图中所需的数量。

5）材料。填写制造该零件的材料标记。

6）备注。填写该项的附加说明或其他有关的内容。

二、技术要求

装配图中的技术要求一般注写在图纸下方空白处，见图 11-8。其内容通常是指在装配过程中的注意事项及装配应达到的要求，如装配要求、性能要求、检验要求、修饰要求、包装要求以及安装、运输要求等。由于技术要求内容较多，涉及的专业知识面较广，将在今后的学习及工作中逐步掌握，一般可参考同类产品图样及资料加以制订。

第六节 装配结构合理性简介

机器或部件的质量在很大程度上取决于装配质量。而装配质量能否达到要求，则与装配结构是否合理密切相关。所以，在画装配图时，应考虑装配结构的合理性，以满足装配质量要求，从而保证产品的质量。这里仅介绍几种最常见的装配结构，并用正误图例的对比方式列出，供画图时参考。

一、零件间接触的装配结构

1）接触面的数量。两零件在同一方向，只应有一对表面接触，这样既可保证装配质量，也便于加工和装配，见图 11-12。

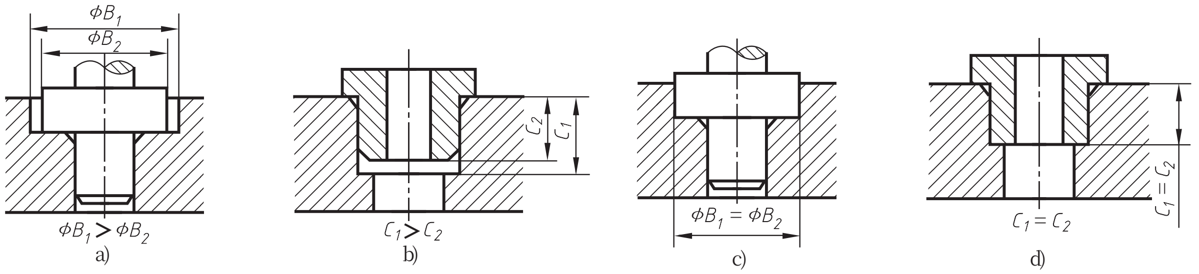


图 11-12　接触面的数量

a)、b）正确　c)、d）错误

2）接触面转角处应做出倒角或凹槽，以保证两接触面紧密接触，见图 11-13。

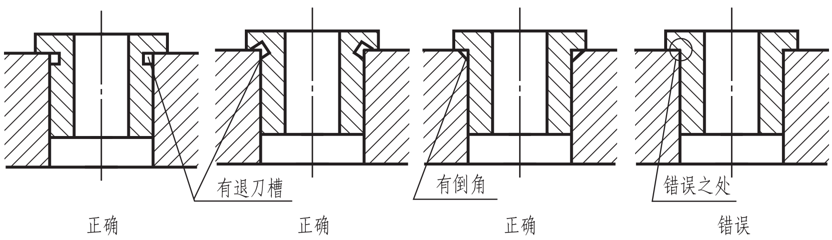


图 11-13　接触面转角处的结构

二、便于装拆的合理结构

1. 留有足够的装拆空间

当在机器上设置紧固件等零件时，要考虑装拆时有足够的装拆空间，以便于装拆。如图 11-14 所示为留出装螺钉的空间。图 11-15 所示为留出扳手活动的空间。

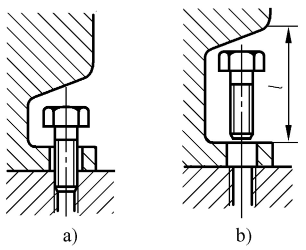


图 11-14　留出螺钉装卸空间

a）不合理　b）合理

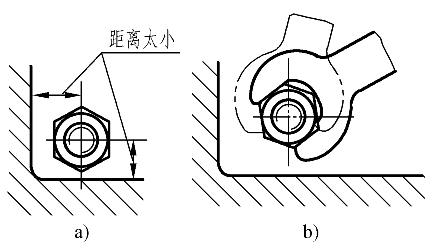


图 11-15　留出扳手活动空间

a）不合理　b）合理

2. 考虑加工、装配的可能性

有些零件的内部结构在加工或装配时必须通过外部形体，这时应留出通道空间以便加工、装配。如图 11-16 所示的带轮轮缘上的孔是供加工轮毂上的螺钉孔及装卸螺钉时留给刀具和工具的通道，称为工艺孔，没有这个孔就无法加工和装配。

3. 考虑装拆方便

在维修、使用中需要拆卸的零件，应考虑拆卸的方便性。如图 11-17a 所示的零件内装有套筒，当需要更换时则很难拆卸；若在箱体上钻几个螺孔，拆卸套筒时即可用螺钉将其顶出，见图 11-17b。

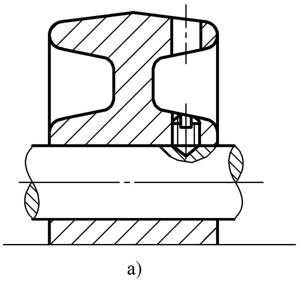


图 11-16 留出工艺孔

a）合理 b）不合理

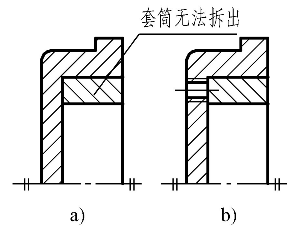


图 11-17 考虑装拆方便

a）不利拆卸 b）利于拆卸

第七节 零、部件测绘

当需要仿造或修理部件、机器设备而又无图样时，则要对现有的零、部件进行测量并画出其零件图和装配图，这种方法称为实物测绘。

测绘部件时应先画零件草图，并由零件草图画出部件装配图，再根据零件草图和部件装配图画出零件图；而测绘零件时，则只画零件草图和零件图。

1. 了解测绘对象

在部件测绘时，应先通过阅读说明书及有关技术文件等资料，了解部件的用途、性能、工作原理、结构特点及装配关系等。现以图 11-18a 所示的齿轮油泵为例，分析说明如下：

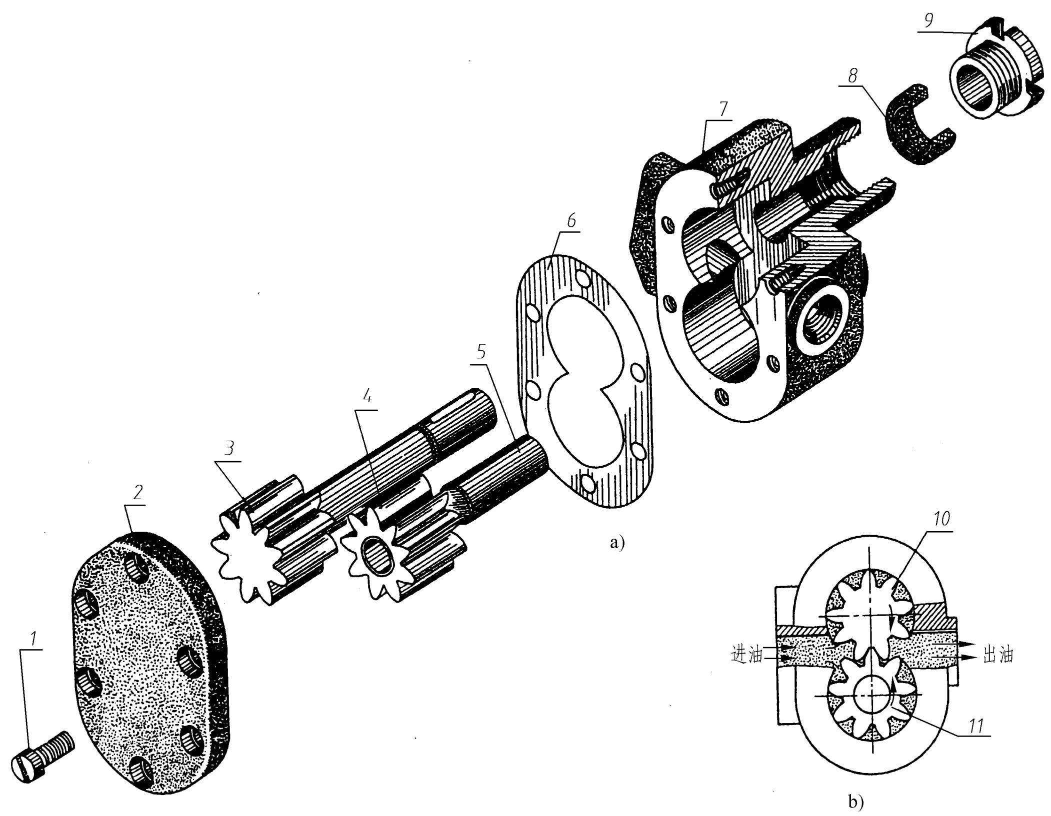


图 11-18 齿轮油泵轴测图和工作原理图

a）轴测图 b）工作原理图

1—螺钉 2—泵盖 3—齿轮轴 4—齿轮 5—轴 6—纸垫 7—泵体 8—填料 9—压盖 10—主动齿轮 11—从动齿轮

齿轮油泵是液压系统或润滑系统的供油部件，其工作原理见图 11-18b，在泵体内有一对啮合齿轮，当主动齿轮作顺时针转动时，就带动从动齿轮作逆时针方向旋转，这时，充满在左边油腔和齿槽中的油液（刚开始时为空气）随着一对齿轮的旋转，不断被带向右边油腔，于是在左边油腔形成负压，油箱中的油液在大气压力作用下，通过进油管（图中未示出）进入左边油腔，而带到右边油腔中的油液则通过出油管（图中未示出）不断地输向系统，作为驱动运动部件或润滑用。

齿轮油泵的零件组成及各零件的结构都是为了实现齿轮油泵的上述功能而设置的，主要的零件有主、从动齿轮，泵体，泵盖及填料装置等，其中泵体具有容纳一对啮合齿轮的空腔、支承轴的轴孔及进、出油孔。动力由主动齿轮传入，两齿轮轴支承在泵体的轴孔内，泵体和泵盖间用螺钉联接，在泵体、泵盖间装有纸垫，以调节齿轮与腔体间的轴向间隙和防止结合面间漏油，泵体主动齿轮轴孔的外端装有填料，并用压盖压紧起密封作用，以防止漏油。

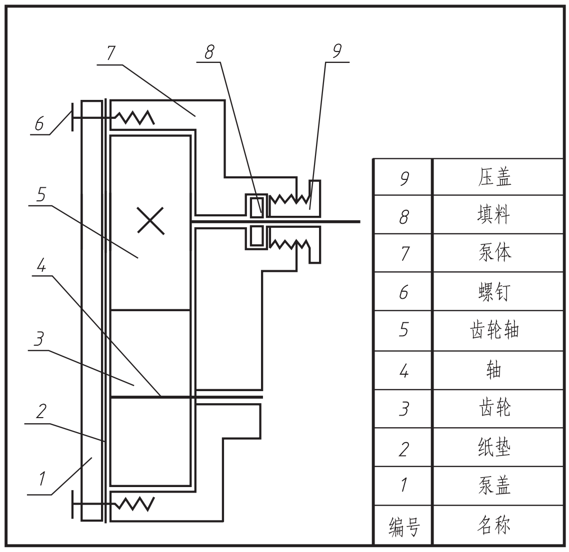


图 11-19　齿轮油泵的装配示意图

2. 画装配示意图

（1）装配示意图及其作用　为了保证拆卸后的零件能重新装配成原有的部件及作为画装配图时的参照，对于较复杂的部件，在拆卸前（或拆卸过程中）应记录各零件间的相互位置、连接关系和传动关系，通常先画出该部件的装配示意图，就是用较形象的图线和规定符号画出部件中各零件的大致轮廓，以及各零件间装配关系的表意性的装配图，如图 11-19 所示为该齿轮油泵的装配示意图。

（2）拆卸零件　拆卸部件中的零件时，应按正确的方法和顺序，对不可拆连接的零件或具有过盈配合的零件尽量不拆，以免损坏零件或原有的配合性质。拆下的零件应按顺序编号并妥善保存。

（3）装配示意图画法特点

1）画装配示意图时，假想部件内、外均为可见，以“示意”表达不同零件。

2）两相邻零件间，不论接触与否，均应留有间隙以便区别。

3）标准零、部件和齿轮、弹簧等零件应按国家标准 GB 4460—1984《机械制图　机构运动简图符号》中规定的符号表示。

4）在装配示意图中，应将各零件编上号码并附列一个零件明细表。

3. 画零件草图

测绘工作经常是在现场进行，且要求在尽可能短的时间内完成，所以，零件草图是用徒手、目测的方法画出的（参见第一章第五节）。应该指出的是：零件草图是绘制零件图和装配图的依据，因此，草图的内容和要求应与用仪器画的零件图一样。图 11-20 所示为齿轮油泵的部分零件草图。

画零件草图时应注意以下几个问题：

1）对视图表达方案的选择往往因时间的限制来不及推敲时，允许选得偏多些，以保证表达的完整无缺。在画零件图时再进行仔细斟酌。

2）画零件草图的步骤与用仪器画零件图基本相同，即应先画作图定位线，再画主要轮廓，最后画出细节。各视图间的投影关系必须保证一一对应。视图全部画好后，再画出全部的尺寸界线和尺寸线，最后统一测量（测量工具和测量方法见“几何量公差与检测”课程，此处从略），逐个填写尺寸数字，这样，既可提高效果，又能避免错误和遗漏。

3）对于标准结构要素，如螺纹、键槽等，测量后要查阅有关标准，取标准数值。对两零件的配合尺寸和相关尺寸应协调一致。

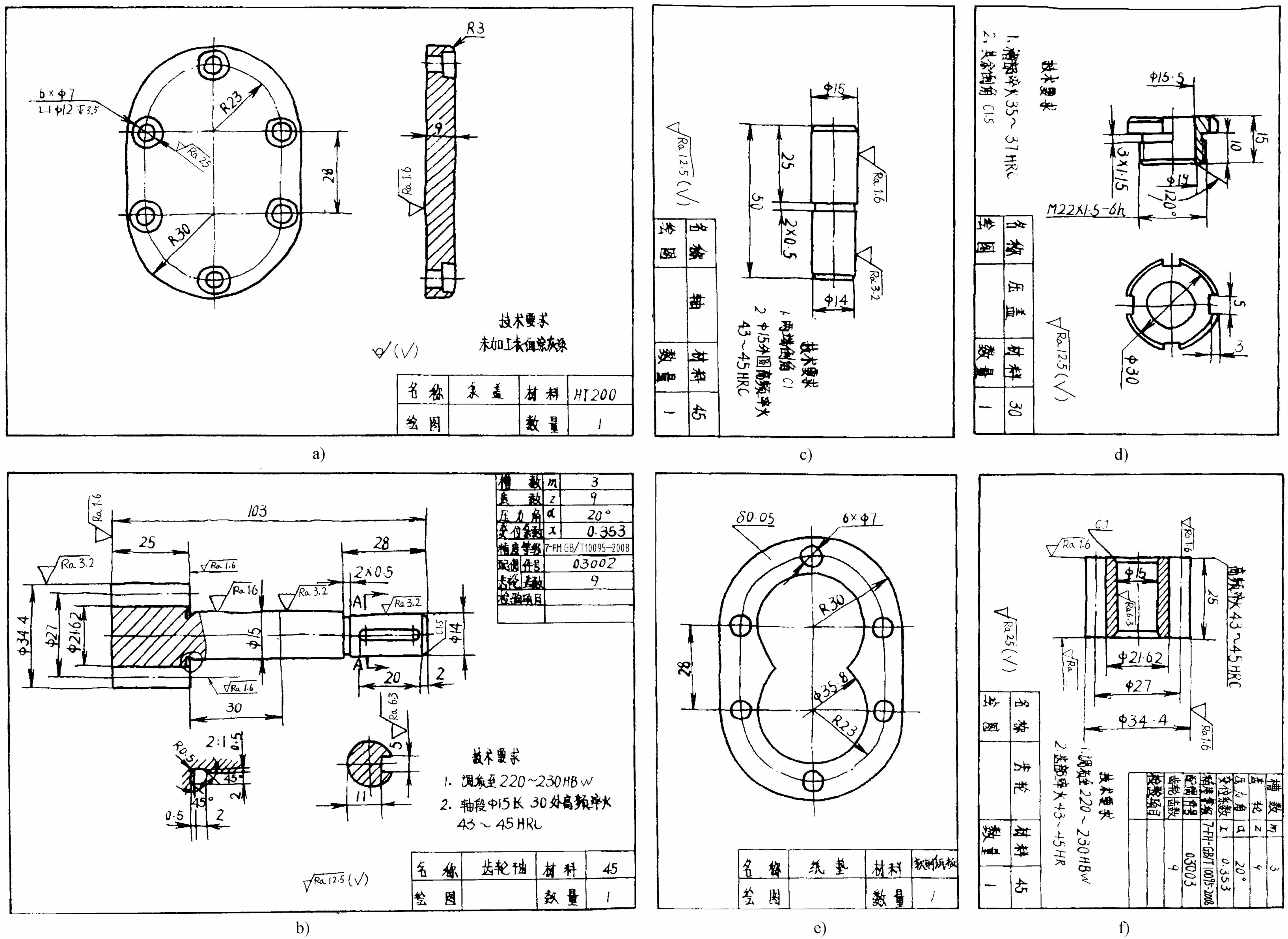
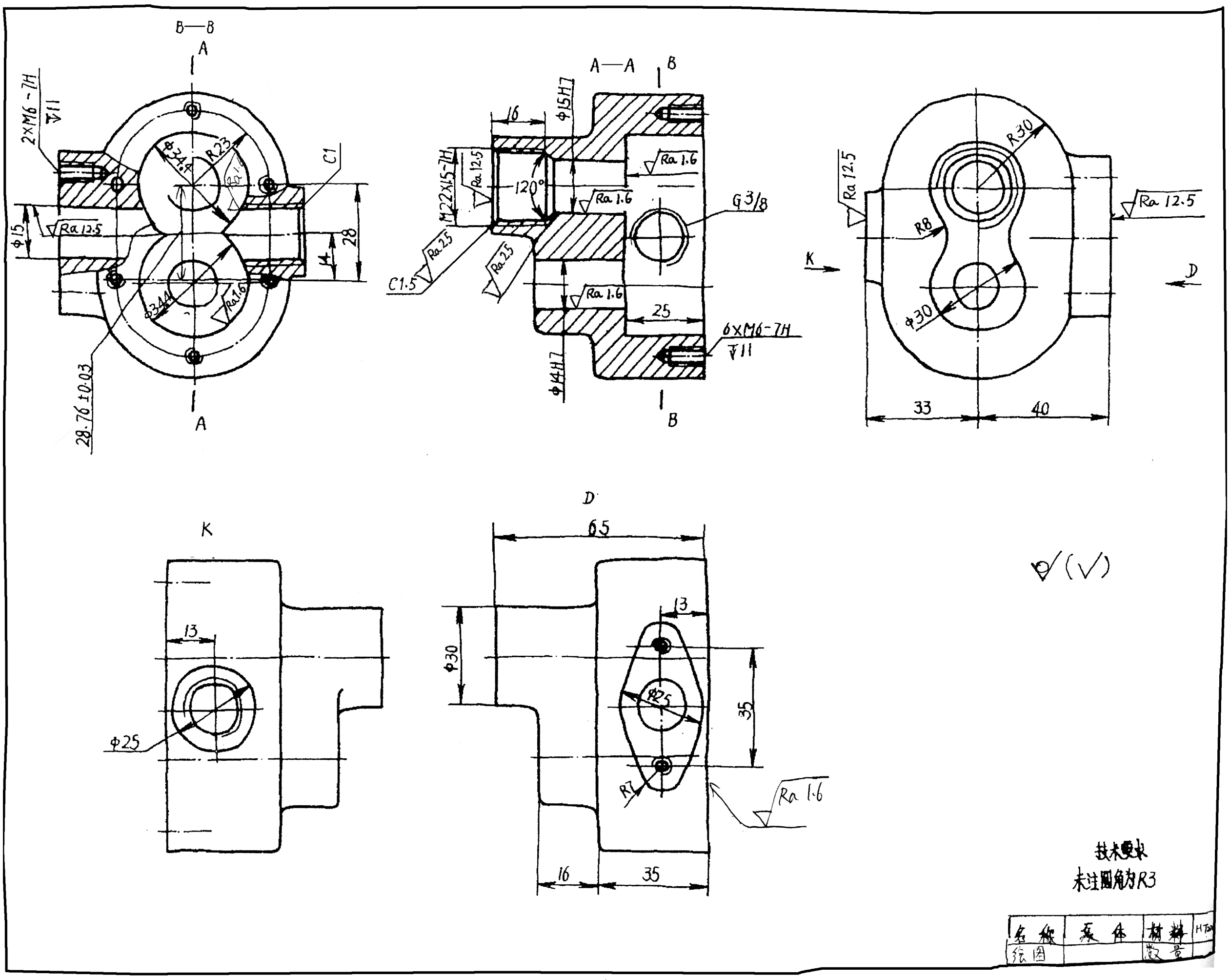


图 11-20　齿轮油泵零件草图



g)

图 11-20　齿轮油泵零件草图（续）

4）对零件的表面粗糙度、尺寸公差、几何公差、材料和热处理及其他技术要求，可根据零件的作用，参照有关资料用类比等方法确定。表 11-1 列出了表面粗糙度 *Ra* 值与相应的加工方法以及应用举例。表 11-2 列出了国家标准《公差与配合》推荐的基孔制和基轴制各 13 种优先配合，并说明了相应的配合特性和应用举例，供选用时参考。

表 11-1　*Ra* 数值的一般选用

Ra/μm	表面特征	主要加工方法	应 用 举 例
50	明显可见刀痕	粗车、粗铣、粗刨、钻、粗纹锉刀和粗砂轮加工	为表面粗糙度值最大的加工面，一般很少应用
25	可见刀痕		
12.5	微见刀痕	粗车、刨、立铣、平铣、钻	不接触表面、不重要的接触面，如螺钉孔、倒角、机座底面等
6.3	可见加工痕迹	精车、精铣、精刨、铰、镗、粗磨等	没有相对运动的零件接触面，如箱、盖、套筒要求紧贴的表面，键和键槽工作表面；相对运动速度不高的接触面，如支架孔、衬套、带轮轴孔的工作表面
3.2	微见加工痕迹		
1.6	看不见加工痕迹		
0.80	可辨加工痕迹方向	精车、精铰、精拉、精镗、精磨等	要求很好密合的接触面，如与滚动轴承配合的表面、锥销孔等；相对运动速度较高的接触面，如滑动轴承的配合表面、齿轮轮齿的工作表面等
0.40	微辨加工痕迹方向		
0.20	不可辨加工痕迹方向		

（续）

$Ra/\mu m$	表面特征	主要加工方法	应 用 举 例
0.10	暗光泽面	研磨、抛光、超级精细研磨等	精密量具的表面、极重要零件的摩擦面，如气缸的内表面、精密机床的主轴颈、坐标镗床的主轴颈等
0.05	亮光泽面		
0.025	镜状光泽面		
0.012	雾状镜面		
0.006	镜面		

表 11-2　尺寸至 500mm 优先配合的配合特性及应用举例

优先配合		配合特性及应用举例
基孔制	基轴制	
$\frac{H11}{c11}$	$\frac{C11}{h11}$	间隙非常大，用于很松的、转动很慢的动配合；要求大公差与大间隙的外露组件；要求装配方便的很松的配合
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$	间隙很大的自由转动配合，用于精度非主要要求时，或有大的温度变动、高转速或大的轴颈压力时
$\frac{H8}{f7}$	$\frac{F8}{h7}$	间隙不大的转动配合，用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动；也用于装配较易的中等定位配合
$\frac{H7}{g6}$	$\frac{G7}{h6}$	间隙很小的滑动配合，用于不希望自由转动，但可自由移动和滑动并精密定位时，也可用于要求明确的定位配合
$\frac{H7}{h6}$ $\frac{H8}{h7}$ $\frac{H9}{h9}$ $\frac{H11}{h11}$	$\frac{H7}{h6}$ $\frac{H8}{h7}$ $\frac{H9}{h9}$ $\frac{H11}{h11}$	均为间隙定位配合，零件可自由装拆，而工作时一般相对静止不动
$\frac{H7}{k6}$	$\frac{K7}{h6}$	过渡配合，用于精密定位
$\frac{H7}{n6}$	$\frac{N7}{h6}$	过渡配合，允许有较大过盈的更精密定位
$\frac{H7}{p6}$	$\frac{P7}{h6}$	过盈定位配合，即小过盈配合，用于定位精度特别重要时，能以最好的定位精度达到部件的刚性及对中要求，而对内孔承受压力无特殊要求，不依靠配合的紧固性传递摩擦负荷
$\frac{H7}{s6}$	$\frac{S7}{h6}$	中等压入配合，适用于一般钢件；或用于薄壁件的冷缩配合，用于铸铁件可得到最紧的配合
$\frac{H7}{u6}$	$\frac{U7}{h6}$	压入配合，适用于可以受高压力的零件或不宜承受大压入力的冷缩配合

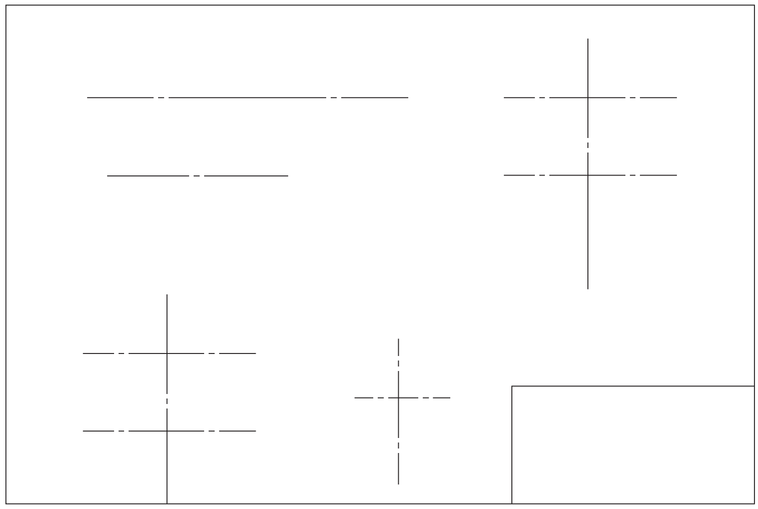
5）标准件可不画草图，只需确定其规格，注出其规定标记。

4. 画装配图和零件图

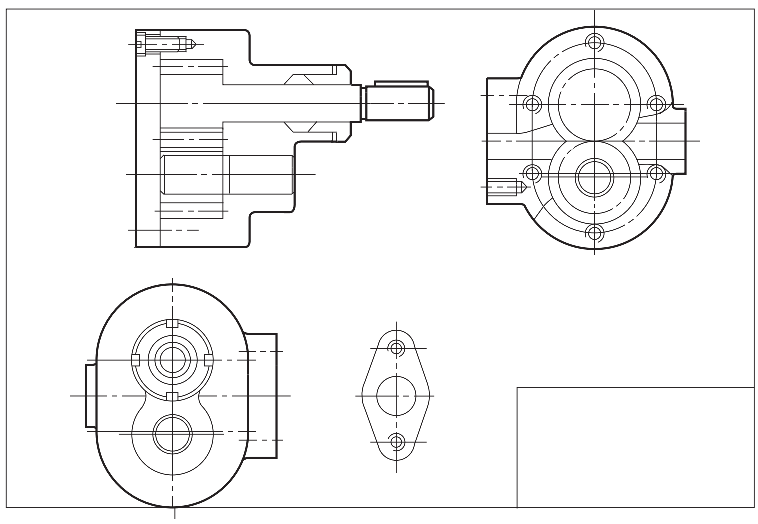
根据零件草图及装配示意图用仪器画出部件装配图。零件草图是经测绘画出的最主要的原始资料，通过画装配图可进一步审查、校核草图是否有问题，从而发现错误及时纠正，再根据装配图和零件草图画出零件图。

第八节　装配图的画法

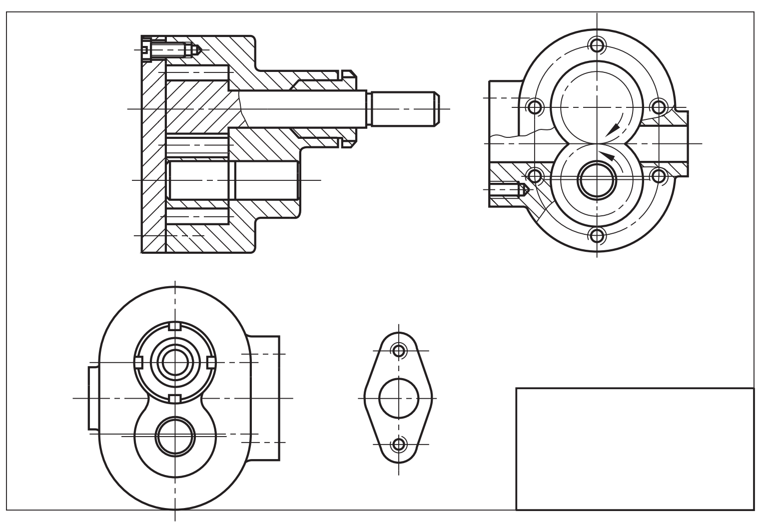
现以上节测绘的齿轮油泵为例说明画装配图的方法和步骤。



a)



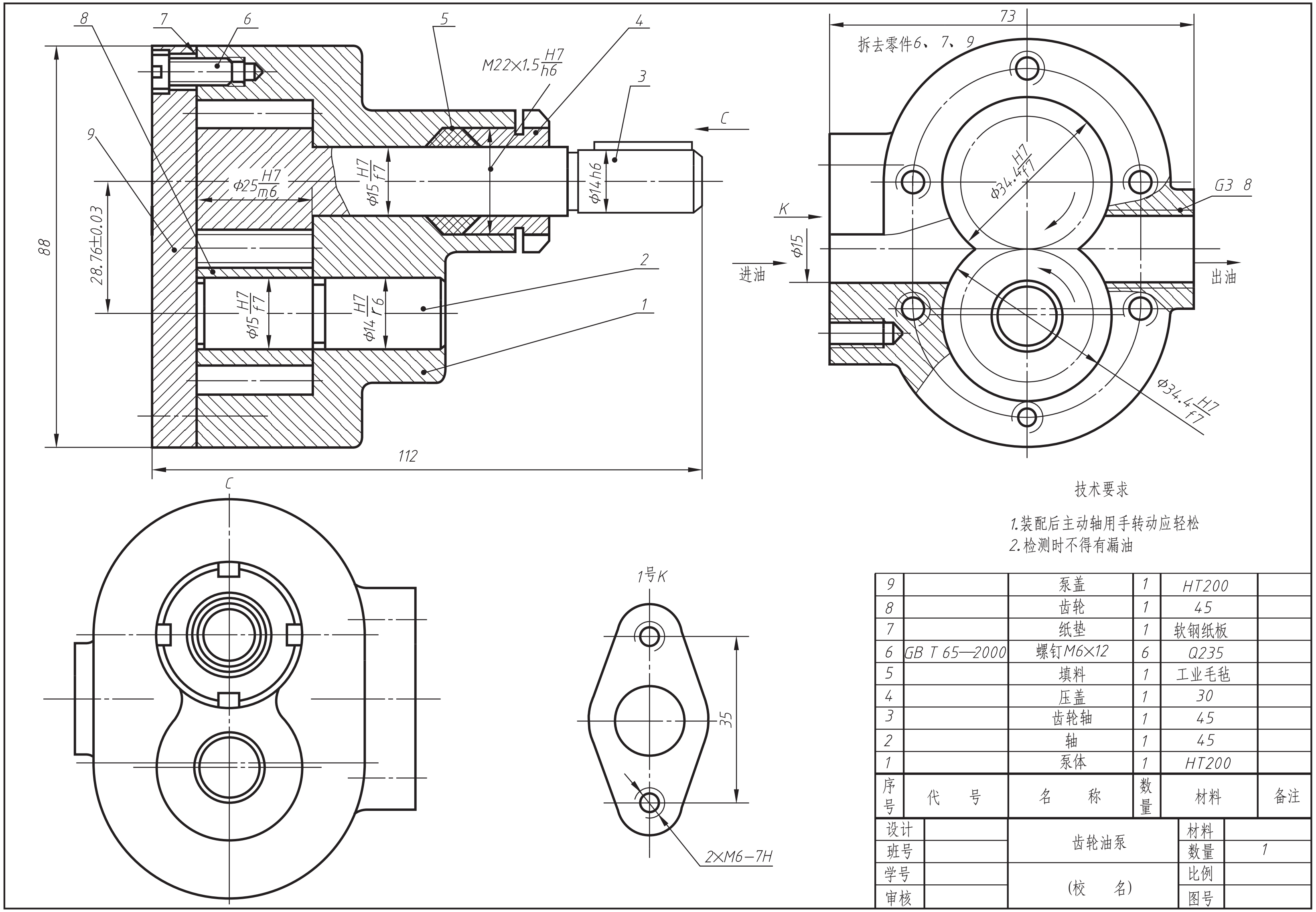
b)



c)

图 11-21　画装配图的步骤

a）画作图定位线　b）画各视图底稿　c）检查，加深，画剖面线



序号	代号	名称	数量	材料	备注
9		泵盖	1	HT200	
8		齿轮	1	45	
7		纸垫	1	软钢纸板	
6	GB T 65—2000	螺钉M6×12	6	Q235	
5		填料	1	工业毛毡	
4		压盖	1	30	
3		齿轮轴	1	45	
2		轴	1	45	
1		泵体	1	HT200	

设计		齿轮油泵	材料	
班号			数量	1
学号		（校 名）	比例	
审核			图号	

d)

图 11-21　画装配图的步骤（续）

d）注尺寸，编序号，填写技术要求、标题栏、明细栏

一、仔细剖析、认识所画对象

在画装配图前，应对所画对象进行剖析，有较深刻的了解后再画图。例如上节在齿轮油泵测绘前对其用途、工作原理、结构特点及传动、装配关系等的分析，为画装配图准备了必要的条件。

二、确定表达方案

对所画对象有清楚的了解后，应根据上述装配图视图选择原则，选用一组恰当的视图，从而完整、正确、清晰地表达出该部件的内容。例如图 11-21d 示出了齿轮油泵所选定的视图表达方案，其主视图用全剖视表达了两齿轮的传动及大部分零件的装配关系，左视图用拆卸画法并作局部剖视，可清楚地表达齿轮油泵的进出油口及其工作原理。增选一个 *C* 向视图可反映泵体及压盖的外形。为清楚地表达主要零件泵体的结构形状，还用单个零件表示法画出了 *K* 向局部视图，以反映泵体进油孔连接凸缘的端面形状以及螺孔的数量和分布位置。

三、画图步骤

1）选择主视图及其他视图，确定视图表达方案。

2）选比例和图幅。根据部件的大小、复杂程度及选定的视图表达方案，确定画图的比例和图幅大小。在考虑视图布置时应留出标题栏、明细栏和标注尺寸、序号、注写技术要求的位置。

3）画出各个视图的作图定位线，如中心线、对称线、轴线等，见图 11-21a。

4）画各视图的底稿线。画装配图时，通常先用细线画出底稿，以便于画图过程中不断修改。画图的顺序可从主视图开始，先画出主要零件，再按装配关系依次画出相邻零件，画图时必须保证各视图间的对应投影关系。对于齿轮油泵，就是先画出泵体的主视图，再顺着装配干线画出齿轮轴 3、轴 2、齿轮 8、泵盖 9、螺钉 6、纸垫 7 及填料压盖 4 等。在画各视图时应利用相互的投影关系，配合作图，见图 11-21b。

5）检查、加深及画剖面符号。底稿画好后，应先检查整理，再进行加深，并画出全部剖面线，见图 11-21c。

6）完成全图。加深视图后，标注尺寸，编写序号，填写技术要求、明细栏、标题栏等。最后还应作一次全面的校核，以确保全图正确无误。完成后的装配图见图 11-21d。

第九节　读装配图和拆画零件图

在生产工作中，经常要读装配图，如在装配机器或部件时，必须先读懂装配图，才能正确地进行工作。在设计过程中，要按照装配图拆画零件图。在技术交流时，也常常要从装配图了解机器的用途、工作原理、结构等。因此，工程技术人员应具有熟练地阅读装配图的能力。

一、读装配图的要求

1）了解机器或部件的性能、功用和工作原理。

2）了解各零件间的装配关系和装拆顺序。

3）搞清楚各零件的名称、数量、材料及其结构形状和作用。

4）了解各尺寸的类别和作用。

5）了解技术要求中的各项内容。

二、读装配图的方法和步骤

下面以图11-22所示的蝴蝶阀为例说明读装配图的方法和步骤。

1. 概括了解

1）看标题栏和说明书等，大致了解部件的功用、性能和工作原理。如从标题栏并参阅说明书等资料可知，部件名称为蝴蝶阀，它是用于管道中控制流体流量的启闭开关；图中比例为1: 1，从图中的外形尺寸可确定阀的实际大小。

2）阅读明细栏，并对应图中的序号查找相应零件的位置，粗分一下所含零件的类型，大致明确部件的复杂程度。从蝴蝶阀的明细栏中可知共有13种零件，其中有螺钉、螺母等四种标准件和常用件齿轮、齿杆（齿条）以及盖板10、垫片13、锥头铆钉3几种简单的零件，还有阀体1、阀杆4、阀盖5等几种专用零件。由此可见，该部件属比较简单的部件，并明确了应重点分析的专用零件。

2. 分析视图

应先对视图的数量、配置及相互关系有一个全面的了解，如采用了哪些视图、剖视、断面、特殊表示法和规定画法，视图间如何配置标注的，它们之间的对应关系等都应弄清楚，为下阶段深入读图时查找及运用做准备。通常先确定出主视图，其他视图即可一一确定。图11-22所示的蝴蝶阀有三个基本视图，并按标准规定配置。主视图主要表达了整个部件的外形，同时，主视图上的局部剖视又表达了阀杆和阀门的装配情况。左视图采用了*A—A*全剖视，以表示阀体、阀盖的内部结构和阀杆系统中零件间的装配关系。俯视图取*B—B*剖视，以表示齿杆和齿轮的传动和装配关系。

3. 分析工作原理

在概括了解和分析视图的基础上，应按各条装配干线进行仔细分析，弄清其传动关系和工作原理。分析时，可从动力来源的零件开始（如有说明书，也可参照说明书）逐个按序进行。

图11-22所示的蝴蝶阀，动力是由齿杆开始传入的，当外力推动齿杆12沿轴向左右移动时，与齿杆啮合的齿轮就传动，齿轮通过半圆键8带动阀杆4转动，阀杆上用铆钉3固定的阀门2也随之转动，所以，通过改变阀门的开度大小，可实现阀的启闭和控制管道内流体的流量。

4. 分析零件，看懂零件的结构形状

为了进一步深入了解机器或部件的构造，还应仔细分析并搞清楚每个零件的结构形状和作用。

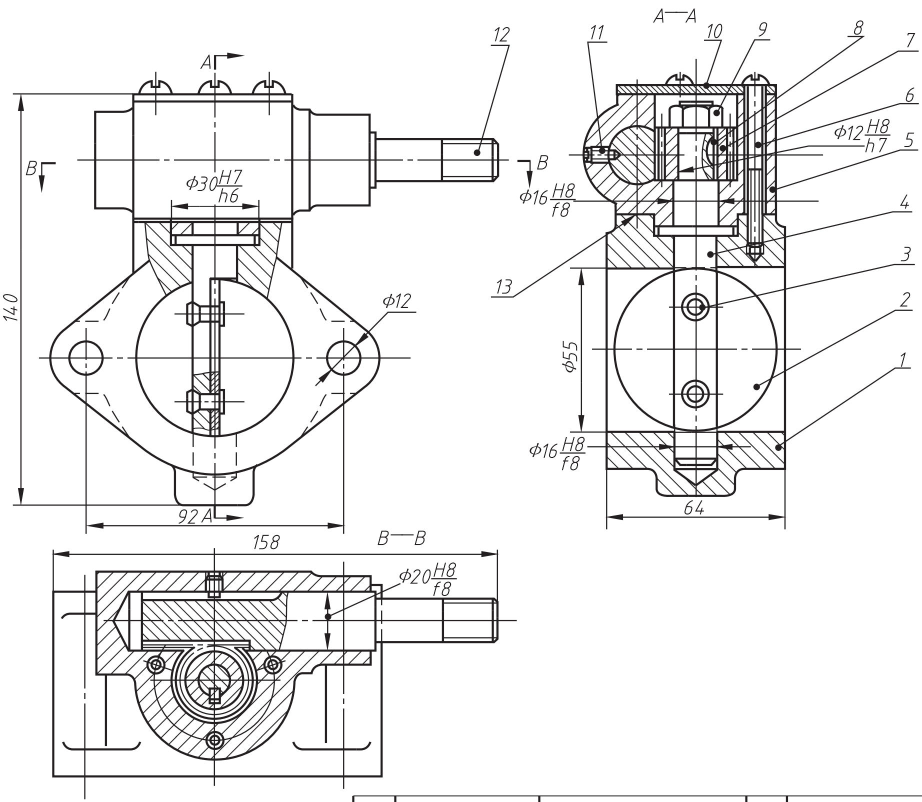
在装配图上对零件进行分离是正确地区分各个零件并读懂零件的前提和关键。如何准确地分离出零件？一般的方法是运用图中的零件编号和同一零件剖面线的方向一致、间隔相同的特点，并根据投影规律（借助丁字尺、三角板、分规等工具），在装配图中逐个区分并确定出零件的各自投影，逐个读懂。现以图11-22中的阀盖为例说明。首先在左视图中找到阀盖5和它相邻的零件盖板10、齿杆12、垫片13及阀体1，可利用与阀盖剖面线的不同区别出来。阀盖中装有螺钉6、紧定螺钉11及阀杆4，可从所标序号及这些标准件、实心杆件不剖的规定画法区分清楚；然后，再利用对应的投影关系和剖面线相同的特点确定出阀盖在主、左视图上的投影。可以看出，阀盖外形为轴线水平和垂直的两圆柱体，内腔为供装齿杆和阀杆的轴孔，顶部有三个供装盖板螺钉用的通孔等结构形状。

5. 归纳总结，想出部件总体结构

经上述分析阅读后，对各零件的结构形状已较清楚，这时可从以下几方面检查归纳，从而进一步全面深入了解部件。

1）深入了解零件的作用及结构特点。如蝴蝶阀中的齿杆，其杆上的长槽是供嵌入紧定螺钉的末端，以限止齿杆转动，并保证齿杆与齿轮的啮合。

2）分析装拆顺序。如蝴蝶阀的装拆顺序应是先松开紧定螺钉11，抽出齿杆12，然后松开螺钉6，



13		垫片	1	软钢纸板	
12		齿杆	1	45	
11	GB/T 75—2000	紧定螺钉	1	35	
10		盖板	1	Q235	
9	GB/T 6170—2000	螺母	1	35	
8		半圆键	1	45	
7		齿轮	1	45	
6	GB/T 67—2008	螺钉	3	35	
5		阀盖	1	HT200	
4		阀杆	1	45	
3	GB/T 868—1986	锥头铆钉	2	Q215	
2		阀门	1	Q235	
1		阀体	1	HT200	
序号	代号	名称	数量	材料	备注

设计		蝴蝶阀	设计	
班号			数量	1
学号		(校名)	比例	1:1
审核			图号	

图 11-22　蝴蝶阀

打开盖板 10，再取下螺母 9，将阀盖 5 与齿轮 7 同时从阀杆 4 上取出，如需拆下阀门 2，则要敲去铆钉 3 方可。

3）阅读图上尺寸及配合等。

通过上述分析，可以想象出蝴蝶阀的总体结构形状，见图11-23。

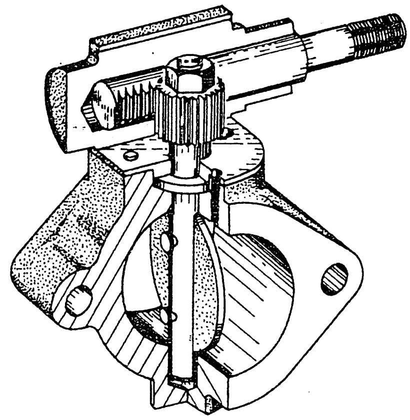


图11-23　蝴蝶阀轴测图

三、由装配图拆画零件图

根据装配图拆画零件图，简称拆图。拆图的过程也是继续设计零件的过程，它是在读懂装配图的基础上进行的。有关零件图的内容和要求已在第十章详细讨论过，现就拆画零件图应注意的几个问题叙述如下：

1. 对零件结构形状的处理

1）由于零件图和装配图的作用和要求不同，因而，在装配图中对某些零件的形状往往表达不完全，这时，应根据零件的功能并运用已有的工艺结构知识加以补充完善，并用适当的表达方法画出。如蝴蝶阀中阀盖的下端面凸台在装配图中未表达清楚，在画零件图时就该用适当方法表达出来，见图11-24中的C向视图。

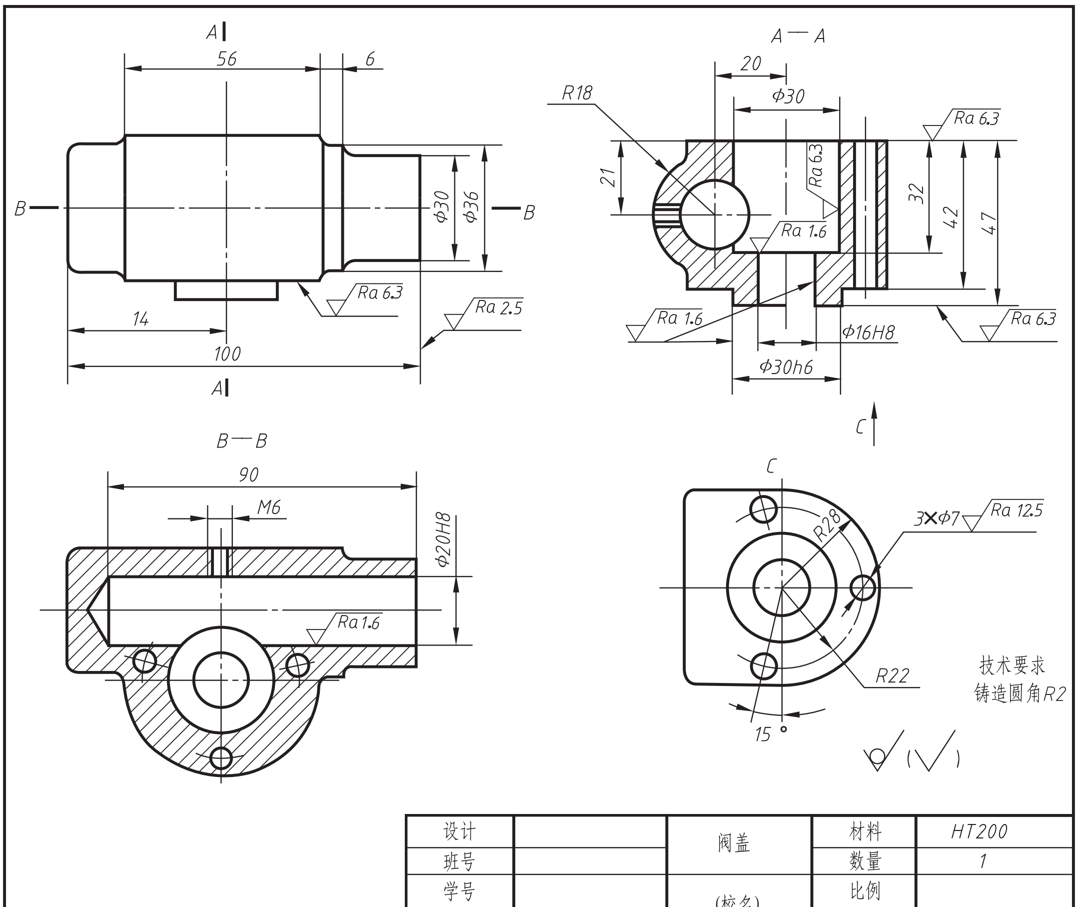


图11-24　阀盖零件图

2）在装配图中，因采用简化画法而未表达清楚的工艺结构，例如倒角、退刀槽等，在拆画零件图时，应结合设计和工艺要求，补画出这些结构。

2. 对视图的处理

拆画零件图时，对零件表达方案的选定，应按零件图的视图表达要求并结合具体特点考虑，不应简

单地照抄装配图的表达方式。

3. 零件图上的尺寸处理

标注尺寸时应按第十章中所讨论过的要求和方法进行，具体数值则可参照下述几种情况处理：

1）装配图中已标注的尺寸都是设计时考虑必须保证的重要尺寸，不得随意更动，应按原尺寸数值标注在相应的零件图上。零件配合面的尺寸公差应根据装配图中给出的配合代号查出相应的上、下极限偏差。

2）对于标准结构，如退刀槽、倒角、销孔、键槽、螺孔等的尺寸，应查阅有关标准后按标准数值标注。

3）其他的一般尺寸，则均按在装配图中直接度量的结果，并经比例计算后的数值标注。

4. 零件图上的技术要求

零件图上的表面粗糙度及其他技术要求等，可根据零件作用、要求、工艺特点等参阅有关资料拟订。

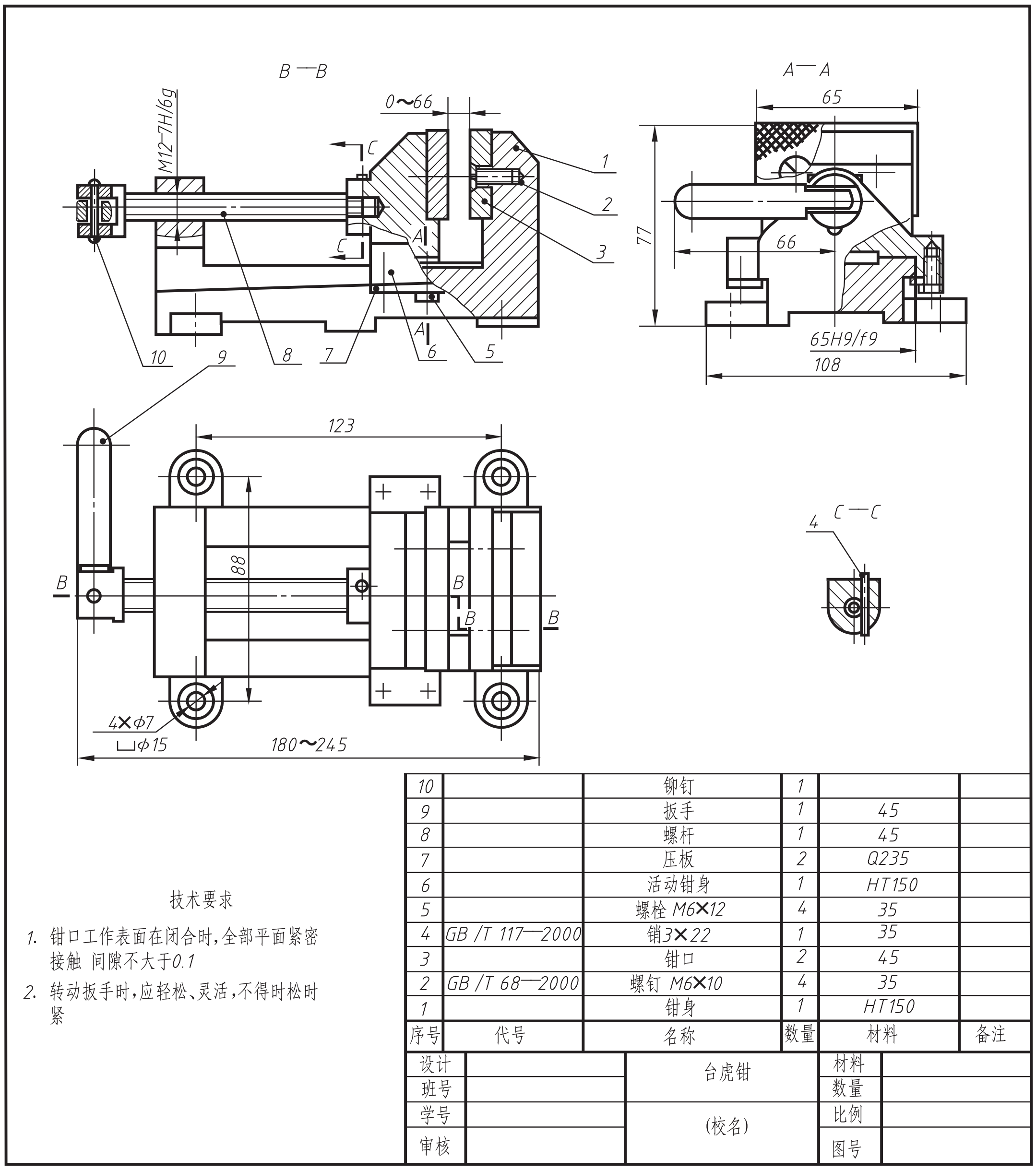


图 11-25　台虎钳

5. 拆画零件图举例

根据图 11-22 装配图，拆画阀盖 5 的零件图。

首先读懂蝴蝶阀装配图，分离零件阀盖，找出阀盖各个视图上的投影，再仔细分析阀盖具体结构形状，根据其特点确定适当的表达方案。针对阀盖在装配图中的三个视图，其工作位置、加工位置基本符合零件的表达要求，主要的内外结构形状也已表达清楚，画阀盖零件图时可直接引用。由于阀盖底部凸台端面的具体形状在装配图中未表达清楚，所以，另外增加一个 *C* 向视图以表达其形状。有关尺寸等其他内容的处理可按上述方法逐步进行，这里不再赘述。最后画出的阀盖零件图见图 11-24。

四、读装配图图例

台虎钳装配图见图 11-25。

1）概括了解。由标题栏、明细栏等可粗略了解台虎钳是用来夹持工件的通用夹具，工件夹在两个钳口之间，由扳手的转动来控制夹具的夹紧或松开。台虎钳由 10 种零件组成，其中 4 种是标准件，还有压板、钳口等几种结构形状都较简单的零件。可以看出，台虎钳属结构较简单的部件。

2）分析视图。装配图中采用了三个基本视图和一个 *C*—*C* 剖视图。三个基本视图按标准配置，可方便地确定出主视图的位置。主视图是按 *B*—*B* 阶梯剖的局部剖视图，以表达内部零件的装配关系。左视图上有两处采用了局部剖视，上部左侧局部剖是为了显示钳口的固定螺钉的外形和位置以及钳口上的滚花，下部右侧 *A*—*A* 局部剖用来表达压板和钳身的装配关系。俯视图主要表示外形和底部四个安装孔。*C*—*C* 剖视用来表达螺杆和活动钳身的连接关系。

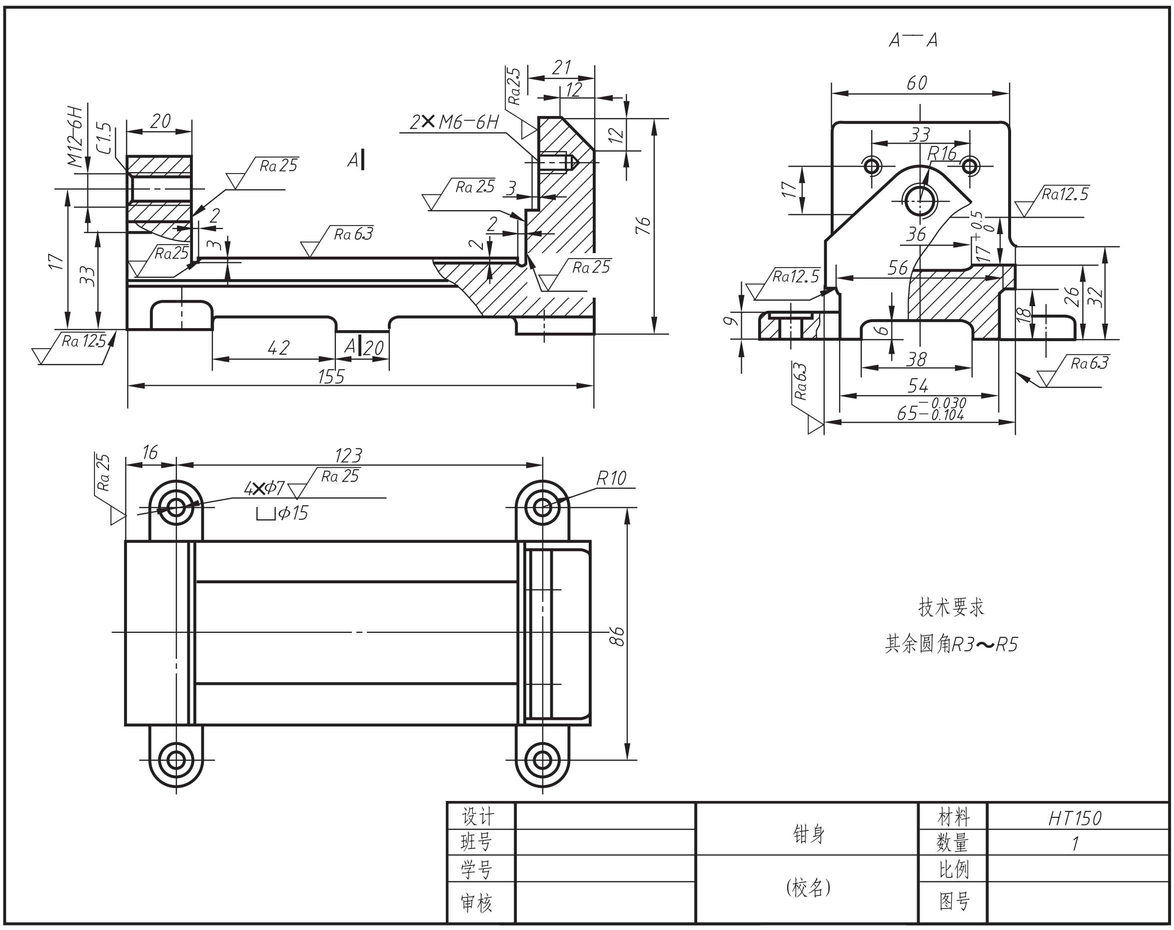


图 11-26　钳身零件图

3）分析工作原理和传动关系。从装配图中可以看出：螺杆 8 与钳身 1 通过螺纹 M12 旋合在一起，螺杆的左端用铆钉 10 和扳手相连，右端用销 4 和活动钳身 6 相连，活动钳身装在钳身 1 上，并在两侧下部用螺栓 5 来固定压板 7，以防止活动钳身上移。当转动扳手 9 时，则带动螺杆旋转并作轴向移动，从而带动活动钳身作同方向移动，完成夹紧或松开工件。

4）分离零件并看懂结构形状，对零件进行逐个分离，仔细读懂零件的结构形状，并能拆画出各个零件的零件图。钳身的零件图见图 11-26。

5）总结归纳，分析全部零件后，再重新全面地理解部件的工作原理、装配关系、装拆过程以及尺寸、技术要求等，读者可自行归纳总结。

第十二章　计算机绘图基础

第一节　计算机绘图概述

随着信息技术的迅猛发展，产品的数字化设计和制造得到广泛应用。计算机绘图是数字化设计的重要基础。从 20 世纪 60 年代起，计算机绘图随着计算机图形学理论及其技术的发展而发展。根据图与数在客观上存在着相互对应的关系，把数字化了的图形信息通过计算机存储、处理，并通过输出设备将图形显示或打印出来的过程称为计算机绘图。现在已经进入普及化与实用化的阶段。

由于计算机绘图具有绘图速度快、精度高，便于产品信息的保存和修改，设计过程直观、便于人机对话，缩短设计周期、减轻劳动强度等优点，已经广泛应用于各行各业中。

计算机绘图系统主要由硬件设备和软件系统组成。其硬件设备主要包括主机、输入设备（键盘、鼠标、扫描仪等）、输出设备（显示器、绘图仪、打印机等）、信息存储设备（主要指外存，如硬盘、储存卡、光盘等），以及网络设备等。主机由中央处理器（CPU）和内存储器（简称为内存）等组成，是整个计算机绘图系统的核心。衡量主机性能的指标主要有两项，即 CPU 性能和内存容量。

计算机绘图软件系统是使计算机能够进行编辑、编译、计算和实现图形输出的信息加工处理系统，一般包括系统软件、数据库、绘图语言、子程序库等。近年来，由于微型计算机在设计和制造领域中的广泛应用，各种国外通用绘图软件纷纷被引进，国产的绘图软件也应运而生。通用绘图软件是指能直接提供给用户使用，并能以此为基础，供用户进一步进行应用开发的商品化软件。

计算机绘图系统的软件分为三个层次，即系统软件、支撑软件和应用软件。系统软件是与计算机硬件直接关联的软件，一般由专业的软件开发人员研制，它起着扩充计算机功能以及合理调度与使用计算机的作用。支撑软件是在系统软件的基础上研制的，它包括进行计算机绘图作业时所需的各种通用软件。应用软件则是在系统软件及支撑软件支持下，为实现某个应用领域内的特定任务而开发的软件。

在计算机绘图系统中，软件配置水平决定着整个计算机绘图系统的性能优劣。因此可以说，硬件是计算机绘图系统的物质基础，而软件则是计算机绘图系统的核心。从计算机绘图系统的发展趋势来看，软件占据着越来越重要的地位，目前，系统配置中的软件成本已经超过了硬件。

目前产品设计中使用的各类交互图形软件主要用来解决各种二维、三维图形的绘制问题，具有很强的人机交互作图功能，是当前微机系统上使用最广泛的通用绘图软件。国内开发的绘图软件主要有北航海尔的 CAXA，清华同方的 OpenCAD。国外系统有美国 Autodesk 公司的 AutoCAD，Micro Control System 公司的 CADKEY，SolidWork 公司的 SolidWork，PTC 公司的 Pro/Engineer 等。

在上述这些软件中，Autodesk 公司的 AutoCAD 较为普及，本章简要介绍 AutoCAD 2008 软件中文版的应用。

第二节　AutoCAD 软件简介

一、概述

AutoCAD 是 Autodesk 公司开发的计算机辅助设计软件，它在二维绘图、编辑、文件管理和三维造型处理等方面具有强大的功能，可以有效地帮助工程设计人员进行设计工作。该软件自问世以来，至今已相继推出多个版本，被翻译成多种语言。因此，其在机械、土木建筑、电子、汽车、造船、服装等行

业和领域都有非常广泛的应用。

AutoCAD 是一个通用的设计与绘图软件，它功能强大，命令简捷，操作方便，容易掌握。该软件的主要功能如下：

1. 基本绘图功能

AutoCAD 提供了绘制各种图形的工具。其“绘图”工具栏中提供了丰富的图元实体绘制工具，用它可以直接绘制各种线条、圆、椭圆、折线、正多边形、加宽线等，并具有书写字符、处理图块和区域填充等功能。

2. 图形编辑功能

AutoCAD 具有很强的图形编辑功能。其“修改”工具栏中提供了全面的图形编辑、修改功能，可以对图形进行删除、复制、偏移、缩放、镜像、旋转、修剪、阵列、倒角、圆角等操作。熟练掌握和运用这些工具可提高绘图的效率。

3. 尺寸标注与注释

工程图样上需要标注尺寸和注写技术要求。AutoCAD 的“标注”工具栏中提供了一套完整的尺寸标注与编辑命令。用户可使用它们标注各类尺寸，如线性尺寸、直径、半径、角度尺寸、尺寸公差和几何公差等。

4. 三维设计与建模

AutoCAD 具有较强的三维功能。它的“建模”工具栏提供了多种三维建模方法，用户可以直接调用柱、锥、球、环等基本体造型，也可将一些平面图形通过拉伸、旋转、扫掠、放样等手段构建三维对象。系统提供的“实体编辑”工具栏可方便地对三维模型进行编辑。

5. 输入输出及显示功能

AutoCAD 可以用键盘、鼠标和数字化仪等多种方式输入各种信息，进行交互式操作。系统提供了多种方法来显示图形，既可以缩放、实时平移图形，还可以通过绘图仪或打印机输出精确的图形。

6. 二次开发功能

AutoCAD 具有良好的二次开发功能，用户可使用 AutoCAD 内部嵌入的 AutoLISP 编程语言，与 VB 等其他高级语言之间实现信息传递，开发出适合特定行业使用的 CAD 产品。

AutoCAD 除了具有上述主要功能外，还具有数据库管理和 Internet 发布等功能。

本章以 AutoCAD 2008 中文版为例介绍其主要功能及应用。

二、AutoCAD 基本知识

1. 概念和术语

（1）图形文件　记录 AutoCAD 所绘制图形信息的文件。AutoCAD 使用这种图形文件在存储介质上保存相应图形，其扩展名为 . dwg。

（2）世界坐标系（WCS）　在 AutoCAD 中绘制图形时，通常使用系统默认的世界坐标系（WCS），它的 X 轴方向水平向右，Y 轴方向垂直向上，Z 轴垂直于 XY 平面。WCS 坐标轴的交汇处显示“□”形标记，但坐标原点并不在坐标系的交汇点，而位于图形窗口的左下角，图中任意一点均用（x，y，z）的形式来确定其相对于原点的位置。

（3）用户坐标系（UCS）　AutoCAD 使用的世界坐标系是固定不变的，用户在绘图时有时会感到不方便。因此，AutoCAD 为用户提供了可以在 WCS 中任意定义的坐标系，称为用户坐标系（UCS）。其原点可在世界坐标系内任意一点的位置上，并且其坐标轴可以任意旋转和倾斜。这种能适应用户作图需要而定义的坐标系称为用户坐标系。

（4）图形单位　图形中两坐标点间的距离用图形单位来度量。度量单位由用户按需要确定，可以是米、毫米，也可以是英尺、英寸。为绘图方便，通常把图形单位定义为毫米。

（5）窗口　窗口是在世界坐标系中定义的确定显示范围的一个矩形区域。只有在这个区域内的图

形，才能被重新放大显示，而窗口外的部分则被裁剪掉。

（6）工作空间　工作空间是经过分组和组织的菜单、工具栏、工具选项板和控制面板的集合，使用工作空间可以让用户在自定义的、面向任务的绘图环境中工作。使用工作空间时，只会显示与任务有关的菜单、工具栏和选项板，可以帮助用户简化常规任务，提高绘图的效率。AutoCAD默认定义的三个基于不同任务的工作空间是：二维草图与注释、三维建模和AutoCAD经典。本章为兼顾以前版本，主要介绍AutoCAD 2008经典工作界面（见图12-1）。用户也可以根据需要自定义工作空间来创建一个绘图环境，以方便绘图。

2. 常用键和符号的约定

在介绍AutoCAD的功能和命令格式时常用到键盘上某些键和符号。下面对某些键或符号作如下约定：

1）空格键和回车键用来表示从键盘输入命令、选择项和数据字段的结束，但在输入文本字符时空格键作为字符，结束文本字符输入必须用回车键。在命令行不输入任何字符，直接按回车键或空格键可以重复刚才执行过的命令。本章用“↙”表示回车（在命令窗口提示中省略“↙”）。

2）符号“【】”用来标识功能键、工具栏或对话框名等，如【Esc】指键盘上的“Esc”键，【绘图】指菜单栏中的“绘图”菜单。

3）符号“→”表示操作路径、操作顺序。如“捕捉对象设置的操作”：【工具】→【草图设置】→【对象捕捉】。

4）尖括号“〈 〉”内的内容一般为默认值或当前值，对提示用回车响应表示采用默认值或当前值。

5）【Esc】键用来终止正在进行的命令。

6）【F1】键用来调用帮助系统。

7）【F2】键用来打开和关闭文本屏幕。

3. 数值输入方法

（1）点的指定　在大多数的绘图与编辑命令中都需要指定点。点的指定方法有：使用指点设备（如鼠标）指定；直接输入X、Y坐标值并回车指定，X、Y坐标值以西文逗号分开，如“35,28”；使用极坐标指定，如“100<45”表示与当前坐标原点相距100个单位、和原点连线与X轴正方向夹角为45°的点；使用相对坐标指定，如“@110，65”表示与前面一点X轴方向相距110个单位、Y方向相距65个单位的点；使用相对极坐标指定，如“@45<60”表示与前一点相距45个单位、和前一点的连线与X轴正方向夹角为60°的点；使用对象特征点捕捉功能指定，可以搜索图中已有图形的端点、中点、圆心、交点等特征点。

（2）长度的指定　长度的指定方法有：直接输入长度数值；指定两点，AutoCAD会自动计算两点之间的距离，并将其作为输入值。

（3）角度的指定　角度的指定方法有：直接输入角度数值；指定两点，AutoCAD会自动计算两点连线与X轴正方向的夹角，并将其作为输入值。

三、AutoCAD 2008的工作界面及基本操作

1. 启动与退出

系统安装AutoCAD 2008中文版后，可以在【开始】→【程序】中启动，也可在桌面上通过双击快捷方式图标来启动。

在启动时会弹出“AutoCAD 2008新功能专题研习”窗口。该窗口设有三个选项：选择“是”复选框，“确定”后可以对AutoCAD 2008的新功能进行全面了解，包括一系列交互式动画教程和简短说明，可以帮助用户了解新功能；选择“以后再说”复选框，“确定”后进入绘图工作界面；选择“不，不再显示此消息”复选框，以后不再弹出该窗口。

退出AutoCAD 2008时，可以使用【文件】菜单中的【退出】命令，也可以使用界面右上角的【关

闭】按钮或在命令行输入命令 Quit。

2. AutoCAD 2008 经典界面

图 12-1 所示为 AutoCAD 2008 启动后的经典工作界面。工作界面的顶部是标题栏，其下依次是菜单栏，标准工具栏和样式工具栏，工作空间、图层和特征工具栏，绘图区、命令提示行和状态栏等。

（1）标题栏　位于工作界面窗口的最上方，其左端显示软件的图标、名称及当前打开的文件名称等信息。AutoCAD 默认的图形文件名称为 DrawingN. dwg（N 是 1、2 等数字）。标题栏的右端按钮，可以最小化、最大化/还原或关闭应用软件窗口。

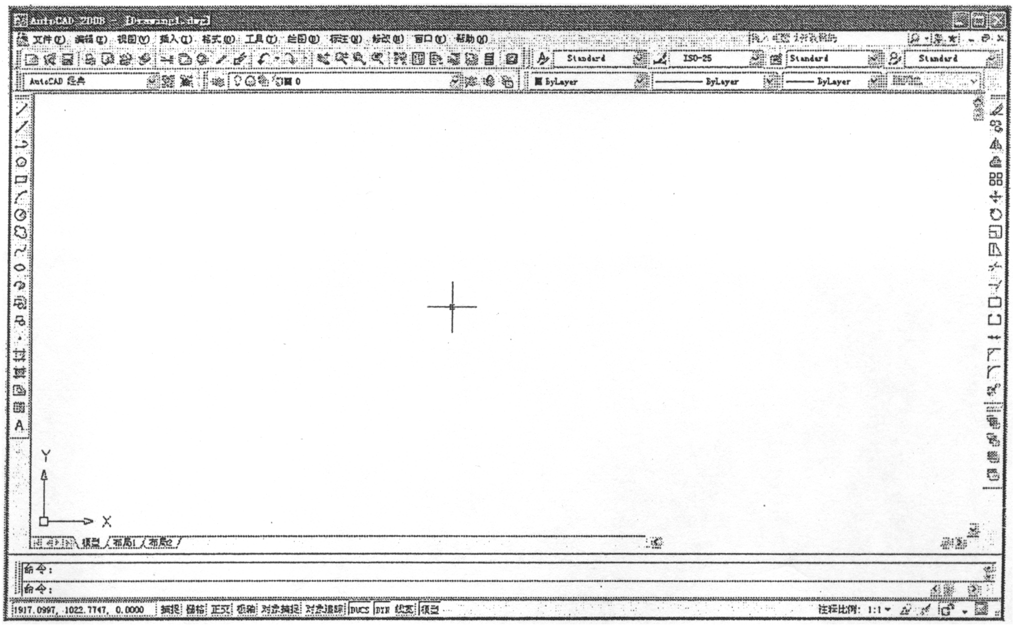


图 12-1　AutoCAD 2008 的经典工作界面

（2）菜单栏　位于标题栏下方，由【文件】、【编辑】、【视图】、【插入】等菜单组成，单击相应的菜单项会弹出相应的下拉式菜单，通过选择命令即可进行有关绘图操作或设置。系统默认的菜单文件为 acad. mnu。

（3）工具栏　使用工具栏是执行 AutoCAD 命令的一种快捷方式，工具栏中的每个图标按钮都代表一条常用的命令。AutoCAD 在默认情况下，只显示【标准】、【样式】、【工作空间】、【图层】、【特性】、【绘图】和【修改】等几个工具栏，使用过程中可以增加或减少工具栏。具体方法是：在任意工具栏上单击鼠标右键，此时将弹出一个快捷菜单，带对钩“√”的为打开的工具栏，不带对钩“√”的表示关闭的工具栏。

（4）绘图区　绘图区是用户绘图的工作区域，位于屏幕的中央，所有的绘图结果都反映在该区域中。其左下方显示的是 WCS 坐标系，其中 X、Y 分别表示 X 轴和 Y 轴的正向。当用户移动鼠标时，绘图区中的十字光标也将相应移动。十字光标由定点设备（如鼠标）控制。可以使用光标定点、选择和绘制对象。在不同的工作状态下，光标可能会变为其他形状。

（5）命令行窗口　位于绘图区的底部，用来输入命令、显示正在执行的命令及提示等信息。用户在某菜单和工具栏中选择命令时，命令行窗口也会显示命令提示和命令记录。执行命令时，在命令行窗口输入相应的命令（常用命令可用其首字母代替完整命令的输入），按【Enter】键或空格键后系统就执行该命令。可以拖动命令行窗口与绘图区的分隔线来调节命令窗口的大小，按【F2】键可打开文本窗口。

（6）状态栏　状态栏位于命令行窗口下方，其左边显示光标当前位置的坐标。状态栏还包含一些

按钮，使用这些按钮可以打开常用的绘图辅助工具。这些工具包括【捕捉】、【栅格】、【正交】、【极轴】、【对象捕捉】等，这些按钮都属于开/关型按钮，即单击按钮一次，开启该功能，再单击一次就关闭该功能。

3. AutoCAD 命令的执行方式

通常 AutoCAD 2008 命令的执行有三种方式：

（1）通过工具栏执行命令　单击工具栏中相应的命令按钮，可执行对应的 AutoCAD 命令。

（2）通过菜单栏执行命令　例如通过下拉式菜单执行画直线命令的操作为：【绘图】→【直线】。

（3）通过键盘输入命令　在命令行窗口直接输入 AutoCAD 命令。例如画直线，即在命令行输入："Line"，回车后即进入画直线的操作。这种方式要求用户记住 AutoCAD 命令。

4. AutoCAD 的文件管理

AutoCAD 2008 绘制的图形文件以后缀为 . dwg 的形式储存在计算机上，用户绘图最常用的三种图形文件管理的命令按钮置于标准工具栏中。

（1）创建新图形　单击标准工具栏中的新建按钮，会弹出【选择样板】对话框，用户通过对话框选择对应的样板文件。初学者一般选择默认的样板文件 acadiso. dwt，单击【打开】按钮，系统就建立了一个新图形文件，系统默认的图形文件名称为 DrawingN. dwg（N 表示新建图形文件的顺序号）。

（2）打开已有的图形　单击标准工具栏中的打开按钮，会弹出【选择文件】对话框，用户通过已有图形的储存路径，在对话框的列表中选择对应图形文件，单击【打开】按钮，系统就可打开该文件。

（3）保存图形　在绘图过程中要时常注意对所绘图形的保存，以免因意外情况造成图形文件的丢失。①单击标准工具栏中的【保存】按钮来保存文件，如果当前文件已被命名，AutoCAD 直接以该名称保存文件。如果当前文件未命名，则系统弹出【图形另存为】对话框，用户可在【保存于】下拉列表框中指定文件的保存路径；在【文件类型】下拉列表框中选择要保存的图形文件的类型；在【文件名】下拉列表框中输入文件名称；单击【保存】按钮，即按指定的路径、名称和文件类型保存图形文件。②如果需要将当前已命名的文件另存为其他路径或名称时，可单击【菜单】→【文件】→【另存为】，则也会弹出"图形另存为"对话框，保存方法也基本相同，不再赘述。

四、绘图环境的设置

1. 设置图形界限

设置图形界限是通过输入绘图区域的左下角和右上角的坐标来限定一个区域，将来所有的绘图工作都在该区域中进行。系统默认的左下角坐标为原点（0，0）。图形界限的设置方法是单击菜单栏的【格式】→【图形界限】，在命令行窗口分别输入图形界限的左下角和右上角的坐标值，系统默认的图形界限是 A3 图纸的幅面。也可用键盘输入"Limits"命令来设置图形界限。

2. 设置栅格和捕捉

单击状态栏中的【栅格】按钮即打开了栅格显示功能，此时在屏幕范围内出现类似坐标纸的点阵，其边界即为图形界限。栅格在绘图中起度量参考作用，便于判断所绘图形在所设图形界限中的位置。单击状态栏中的【捕捉】按钮即打开捕捉显示功能。捕捉用于控制光标移动时的每次移动的最小位移。在【栅格】按钮上单击右键，选择【设置】，打开如图 12-2 所示的【草图设置】对话框，可以设置栅格间距和捕捉最小位移量。也可以通过单击菜单栏的【工具】→【草图设置】来完成上述操作。



图 12-2　【草图设置】对话框

3. 设置图层

（1）图层的基本概念　工程图样上有各种图形元素，其中图线要求区分线宽和线型。AutoCAD 以图层（LAYER）为工具来实现图线的设置、分类存放和状态控制。图层本身是不可见的，可以将其理解为透明纸。不同的图形对象可以画在不同的透明纸上，最终将这些透明纸叠加在一起就形成一幅完整的图形。这样能使绘图过程中的各类信息清晰有序，便于图形的编辑和修改。

例如一张简单的机械图，可把轮廓线放在一个图层上画出，设定颜色是黑色（背景为白色），线型为实线（Continuous），线宽为 0.5mm；又把中心线放在某一图层上，设定颜色为蓝色，线型为中心线（Center），线宽为默认；把尺寸标注放在某一图层上，设定颜色是黑色，线型为实线（Continuous），线宽为默认……这样不同类型的图线放在不同的图层上，绘图时切换到相应图层即可开始绘图，无需在每次绘制时去设置线型、线宽和颜色。

（2）图层的操作　图层特性管理器的打开可以采用如下方法：

1）工具栏：【图层】→

2）菜单：【格式】→【图层】

3）命令行：Layer ↙

图层特性管理器如图 12-3 所示。其主要功能是创建新图层，指定图层颜色、线型、线宽和打印样式，改变当前层，删除图层，设定图层打开或关闭、冻结或解冻、锁定或解锁，过滤图层等。

（3）用图层特性管理器对话框创建和设置图层　当开始绘新图时，打开【图层特性管理器】后，只有一个系统默认的名称叫做“0”的图层。该图层不能删除或更名。一幅图的图层数没有限制，根据绘图需要进行设置，每一图层可以容纳的图元数目也没有限制。

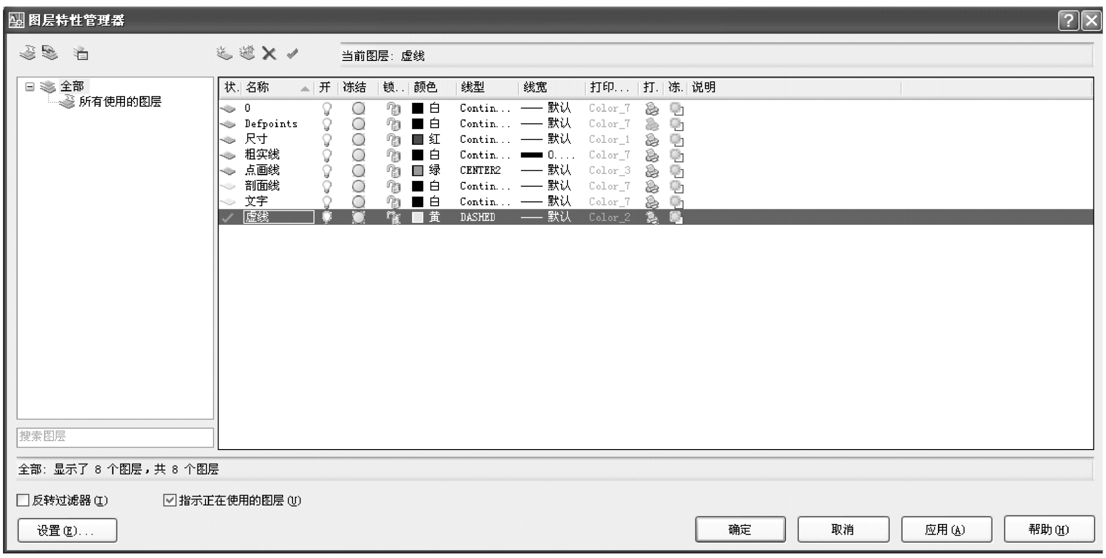


图 12-3　图层特性管理器

图层特性管理器基本操作如下：

1）新建图层：单击【图层特性管理器】按钮，列表中显示新创建的图层“图层 1”。重复上述操作，依次创建的图层为“图层 2”“图层 3”……某图层名称处于选中状态，可更改成新的图层名。

2）删除图层：单击按钮，可以删除选定的图层，但“0”层、当前层等图层不能删除。

3）置为当前：单击按钮，就将选定的图层设置为当前的绘图层。此时用户在该图层中进行绘图操作。

图层特性功能较多，绘图中最主要的是对图层的颜色、线型及线宽等参数进行设置。下面以图层

“虚线”为例，介绍图层的特性设置。

1）单击图层“n”的“名称”选项，将其改为“虚线”。

2）单击图层“虚线”的颜色“白”选项，系统弹出如图 12-4 所示的【选择颜色】对话框。选择黄色后单击【确定】按钮，完成该图层的颜色设置。

3）单击图层“虚线”的线型“Continuous”选项，系统弹出如图 12-5 所示的【选择线型】对话框。在默认情况下，该对话框中只有一种“Continuous”连续线型。要设置其他线型，单击【加载】按钮，系统弹出如图 12-6 所示的【加载或重载线型】对话框。选择“Dashed”虚线线型后，单击【确定】按钮，在【选择线型】对话框中载入“Dashed”线型。选中该线型并单击【确定】按钮，完成图层“虚线”的线型设置。

4）单击该图层的线宽“默认”选项，系统弹出如图 12-7 所示的【线宽】对话框。选择“0.25 毫米”线宽后，单击【确定】按钮，完成该图层的线宽设置。

按照上述步骤，完成绘图所需的各个图层的特性设置。

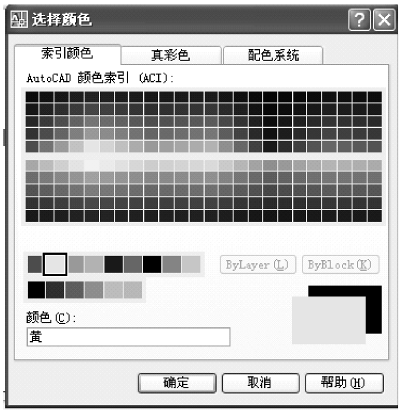


图 12-4 【选择颜色】对话框



图 12-5 【选择线型】对话框



图 12-6 【加载或重载线型】对话框



图 12-7 【线宽】对话框

此外，图层的管理还可通过单击菜单栏的【格式】→【图层工具】的子菜单，进行多种图层管理的操作。如切换图层、改变对象所在的图层、改变图层的状态（包括打开/关闭、冻结/解冻、锁定/解锁等），从而对图层进行有效的管理。

第三节 AutoCAD 二维图形绘制

一、常用的绘图命令

为了满足不同用户的需要，中文版 AutoCAD 2008 提供了多种途径来实现相同的绘图功能。用户可

使用【绘图】菜单、【绘图】工具栏（见图 12-8）以及绘图命令这三种途径来绘制二维图形。

在设置绘图环境后即可开始绘图。工程图样一般是由点、直线、圆和圆弧等基本图元组成的二维平面图形。下面介绍 AutoCAD 常用基本图元的绘制命令、基本功能及各种操作方式。

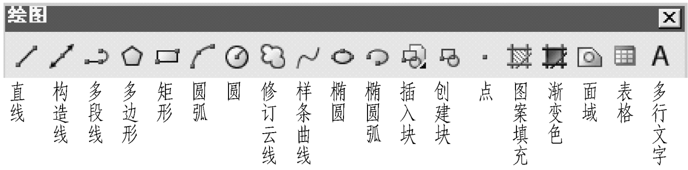


图 12-8　【绘图】工具栏

1. 直线

功能：创建两个指定坐标点之间的直线。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【直线】

3）命令行：Line↙

执行【直线】命令后，命令行窗口提示：

```
命令：_Line 指定第一点：
指定下一点或 [放弃(U)]：
指定下一点或 [放弃(U)]：
指定下一点或 [闭合(C)/放弃(U)]：U
指定下一点或 [放弃(U)]：
```

操作说明：

执行【直线】命令后，命令行显示：Line 指定第一点：

① 单击鼠标或键盘输入起点坐标，以指定起点，命令行显示：

指定下一点或［放弃（U）］：

② 移动鼠标并单击，即可指定下一点，同时画出一条直线段。若继续输入第三点则画出第二条直线，以此类推，即可连续画线。

③ 单击鼠标右键弹出快捷菜单，选择有关命令，或回车结束画直线命令。

其他注意事项：

① 若要绘制水平线和铅垂线，可单击状态栏的【正交】按钮或按下【F8】键进入正交模式画线。

② 在响应提示“下一点”时，若输入【U】或选择快捷菜单中的“放弃”命令，即取消最后画的那条线；若输入【C】或选择快捷菜单中的“闭合”命令，可使画出的折线封闭并结束画直线命令。

③ 为了方便从命令行输入命令，AutoCAD 的常用命令可输入命令的首字母来代替一条完整命令。例如【Line】命令，只需在键盘上输入【L】即执行画直线命令。

2. 构造线

功能：创建无限长直线，通常作为辅助作图线使用。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【构造线】

3）命令行：XLINE↙

命令行窗口提示：

```
命令：_XLINE指定点或 [水平(H)/垂直(V)/角度(A)/二等分(B)/偏移(O)]：
```

选项说明：

① 指定点：用无限长直线所通过的两点定义构造线的位置。

② 水平：创建一条通过选定点的水平构造线。

③ 垂直：创建一条通过选定点的垂直构造线。

④ 角度：以指定的角度创建一条构造线。

⑤ 二等分：创建一条构造线，它经过选定的角顶点，并且将选定的两条线之间的夹角平分。

⑥ 偏移：创建平行于已知参照线的构造线。

3. 多段线

功能：创建二维多段线，多段线由直线和圆弧组成，它有一系列附加特性，如线的宽度可以变化。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【多段线】

3）命令行：PLINE↙

命令行窗口提示：

```
命令：_PLINE
指定起点：
当前线宽为 0.0000
指定下一个点或 [圆弧(A)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]：
```

选项说明：

① 下一个点：绘制一条直线段。

② 圆弧：该选项由绘制直线方式变为绘制圆弧方式，并给出绘制圆弧的提示。

③ 半宽：指定多段线的半宽度。

④ 长度：以前一线段相同的角度并按指定长度绘制直线段。如果前一线段为圆弧，将绘制一条直线段与弧线段相切。

⑤ 放弃：可删除最近一次添加到多段线上的直线段或弧。

⑥ 宽度：指定下一条直线段的宽度。

4. 圆

功能：创建圆。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【圆】

3）命令行：Circle↙

绘圆命令的窗口提示：

```
命令：_Circle 指定圆的圆心或 [三点(3P)/两点(2P)/相切、相切、半径(T)]：
指定圆的半径或 [直径(D)]：
```

选项说明：

① 指定圆的圆心：基于圆心和半径（或直径）绘制圆。

② 三点：根据三点画圆。依次输入三个点，即可绘制出一个圆。

③ 两点：基于指定的两点为直径绘制圆。

④ 相切、相切、半径：基于指定半径和两个相切对象绘制圆。有不止一个圆符合命令中所给条件时，绘制出切点与选定点最近的圆。

5. 矩形

功能：直接绘制矩形，也可以对矩形倒角或倒圆角，还可以改变矩形的线宽。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【矩形】

3）命令行：Rectang↙

矩形命令的窗口提示：

```
命令：_Rectang
指定第一个角点或 [倒角(C)/标高(E)/圆角(F)/厚度(T)/宽度(W)]:
指定另一个角点或 [面积(A)/尺寸(D)/旋转(R)]:
```

选项说明：

① 第一个角点：指定两个点决定矩形对角点的位置，即可绘制矩形。

② 倒角：设置矩形的倒角距离，以后执行 Rectang 命令时将使用此值为当前倒角距离，下同。

③ 标高：指定矩形的标高。

④ 圆角：指定矩形的圆角半径。

⑤ 厚度：指定矩形的厚度。

⑥ 宽度：为要绘制的矩形指定线的宽度。

⑦ 面积：通过指定面积和长度或宽度来绘制矩形。

⑧ 尺寸：指定矩形的长度和宽度来绘制矩形。

⑨ 旋转：绘制具有一定旋转角度的矩形。

选项标高和厚度分别用于三维图形对象的绘图时，设置矩形的基面位置和高度。

6. 圆弧

功能：创建圆弧。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【圆弧】

3）命令行：Arc↙

圆弧命令的窗口提示：

```
命令：Arc
指定圆弧的起点或 [圆心(C)]:
指定圆弧的第二个点或 [圆心(C)/端点(E)]:
指定圆弧的端点:
```

圆弧画法有：

① 三点画圆弧。

② 起点、圆心、端点；起点、圆心、角度；起点、圆心、弦长画圆弧。

③ 圆心、起点、端点；圆心、起点、角度；圆心、起点、弦长画圆弧。

④ 起点、端点、角度；起点、端点、方向；起点、端点、半径画圆弧。

说明：

① 默认状态时，AutoCAD 以逆时针绘制圆弧。

② 如果用回车键回答第一提问，则以上次所画线或圆弧的端点及方向作为本次所画圆弧的起点及起始方向。提示：指定圆弧的端点：输入端点，完成画弧。这种方法特别适用于与上次线或圆弧相切的情况。

7. 椭圆

功能：创建椭圆。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【椭圆】

3）命令行：Ellipse↙

椭圆命令的窗口提示：

```
命令： Ellipse
指定椭圆的轴端点或 [圆弧(A)/中心点(C)]:
指定椭圆的中心点:
指定轴的端点:
指定另一条半轴长度或 [旋转(R)]:
```

选项说明：

① 椭圆的轴端点：根据两个端点定义椭圆的第一条轴。第一条轴的角度确定了整个椭圆的角度。第一条轴既可定义长轴，也可定义短轴。

② 圆弧：创建一段椭圆弧。先创建椭圆，然后输入起始和终止角度确定椭圆弧。

③ 中心点：通过指定的中心点来创建椭圆。

④ 当单击【工具】→【草图设置】→【捕捉与栅格】→【等轴测捕捉】后，执行 Ellipse 命令，输入选项“I”可以绘制正等轴测图的轴测圆。此时，按一下【F5】按钮可进行三个轴测投影面的轮换。

8. 正多边形

功能：创建正多边形。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【正多边形】

3）命令行：Polygon↙

正多边形命令的窗口提示：

```
命令: Polygon
输入边的数目 <4>:
指定正多边形的中心点或 [边(E)]:
输入选项 [内接于圆(I)/外切于圆(C)] <I>:
指定圆的半径:
```

选项说明：

① 边的数目：输入正多边形的边数。

② 正多边形的中心点：先定义正多边形中心点，然后输入内接圆或外切圆选项和半径画出正多边形。

③ 边：通过指定第一条边的两个端点来定义正多边形并按逆时针方向绘制。

绘正多边形有内接圆和外切圆两种方式，可根据具体情况选择。

9. Point 命令

功能：创建点。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【点】

3）命令行：Point↙

设单点时命令行窗口提示：

```
命令： _Point
当前点模式： PDMODE=0  PDSIZE=0.0000
指定点:
```

说明：

系统变量 PDMODE 和 PDSIZE 控制点对象的样式及大小。

若选择【绘图】→【点】→【多点】命令或单击按钮，则每次可以创建多个点对象。

二、图案填充及文本输入

1. 图案填充

功能：该命令可以在指定的图形区域内填充一定样式的图案。进行填充时，可对图案的类型、比例和旋转角度等选项进行设置。机械图样中常用于画剖面线。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【绘图】→【图案填充】

3）命令行：Bhatch ↙

执行【图案填充】命令后弹出【图案填充和渐变色】对话框，见图 12-9。

单击【图案填充】选项卡，可创建图案填充操作，各选项组的功能如下：

（1）“类型和图案”选项组

1）类型。设置图案类型。AutoCAD 2008 提供了“预定义”“用户定义”和“自定义”三种选项，系统默认为“预定义”选项。使用时，可指定一个预定义的图案，这些图案存储在系统的线型库文件中，可以控制任何预定义图案的角度和缩放比例；“用户定义”是基于图形的当前线型创建直线图案，可以控制用户定义图案中的角度和直线间距；“自定义”是指用户使用自定义好的图案，可以控制任何自定义图案中的角度和缩放比例。

2）图案。该下拉列表框用于选择要填充的图案，也可单击【…】按钮，打开【填充图案选项板】对话框，从中可以查看所有预定义图案，用户根据需要作出选择。



图 12-9　【图案填充和渐变色】对话框

3）样例。显示用户当前选定的填充图案的样例。

4）自定义图案。在“类型”框中选择了“自定义”选项时，将激活此选项的下拉列表框，其中列出了可用的自定义图案，列表框顶部显示的是最近使用的六个自定义图案。

（2）“角度和比例”选项组　该选项组可以对用户选定的图案角度和比例等选项进行设置。

1）角度。该下拉列表框指定填充图案的角度，各种图案的默认角度为零。

2）比例。该下拉列表框用于设置填充图案填充比例值。只有在“类型”中选择了“预定义”或“自定义”，此选项才可用。

3）双向。当在“类型”框中选择了“用户定义”选项时，选中该复选框，可使用相互垂直的两组平行线填充图形，否则为一组平行线。

4）相对图纸空间。该选择框将相对于图纸空间单位缩放填充图案。该选项仅适用于在图纸空间。

5）间距。指定用户定义填充图案中的直线的间距。只有在“类型”中选择了“用户定义”，此选项才可用。

6）ISO 笔宽。基于设置的笔宽按比例缩放 ISO 预定义图案。只有在“类型”中选择了“预定义”，并将“图案”设置为 ISO 图案的一种，此选项才可用。

（3）“图案填充原点”选项组　该选项组可以设置图形填充原点的位置。

1）使用当前原点。选择该选项即以当前 USC 的原点作为图案填充原点。

2）指定的原点。选择该选项即以选定点作为图案填充的原点。并通过【单击以设置新原点】按钮来选择图案填充的原点；选择“默认为边界范围”选择框，可以以填充边界的左下角、右上角、右下角、左上角或圆心作为图案填充原点；选择“储存为默认原点”选择框，可以将指定点存储为默认的图案填充原点。

（4）“边界”选项组　该选项组有【拾取点】和【选择对象】等按钮，其主要功能如下：

1）拾取点。单击该按钮，可选择构成封闭区域的现有对象为边界进行图案填充。若填充区域的边界不封闭，则系统显示出错信息。

2）选择对象。单击该按钮，可通过选择对象来定义填充区域的边界。

3）删除边界。单击该按钮，可取消已有的边界。

4）重新创建边界。单击该按钮，可重新创建图案填充边界。

5）查看选择集。单击该按钮，已定义的填充边界将显亮。

在执行【图案填充】命令后，弹出【图案填充和渐变色】对话框，除了上述【图案填充】选项卡外，还有一个【渐变色】选项卡。单击该选项卡，可以用单色、双色等渐变色的方式对图形进行填充。

2. 文字样式

功能：创建或修改已命名的文字样式以及设置图形中文字的当前样式。

命令输入方法：

1）工具栏：【样式】→

2）菜单：【格式】→【文字样式】

3）命令行：Style↙

执行命令后 AutoCAD 弹出【文字样式】对话框，见图 12-10。



图 12-10　【文字样式】对话框

① 样式。AutoCAD 系统默认使用“Standard”文字样式作为标准文字样式。用户可以根据需要创建新的文字样式。具体操作是在【文字样式】对话框中单击【新建】按钮，弹出【新建文字样式】对话框，并为当前新建的文字样式提供默认名称“样式 n”（此处 n 为新建样式的编号）。也可在对话框中键入自定的样式名，输入新名称并选择【确定】后，就创建了一个新的文字样式，并根据需要对新文字样式进行具体的设置。也可在样式栏中选定已有文字样式，选择【删除】，即删除了被选中的文字样式。

② 字体。修改样式的字体。其中，“字体名”下拉式列表用于选择 Windows 中所有带有“TT”标志的字体（True Type 字体）及 AutoCAD 自带的字体；“字体样式”选择字体格式，如斜体、粗体或者

常规字体。

③ 大小。“注释性”一般采用默认不勾选。“高度”根据输入的值设置文字高度，如果用默认值 0，每次用该样式输入文字时，AutoCAD 都提示输入文字高度；如果输入值大于 0，则为该样式设置的文字高度；“使用大字体”用来选择大字体文件。

④ 效果。修改字体的特性。其中，“颠倒”是倒置显示字符；“反向”是反向显示字符；“垂直”是垂直对齐显示字符；“宽度因子”是设置字符宽度比例，输入值如果小于 1.0，将压缩文字宽度；“倾斜角度”是设置文字的倾斜角度，输入 -85 ~ 85 之间的一个值，使文字倾斜。

3. 创建单行文字

功能：用于在图中注写文字。每行文字是一个独立的对象，可对其进行重新定位、复制和缩放等操作。

命令输入方法：

1）菜单：【绘图】→【文字】→【单行文字】

2）命令行：DTEXT 或 TEXT ↙

DTEXT 命令的窗口提示：

```
命令：DTEXT
当前文字样式： "Standard"  文字高度： 2.5000  注释性： 否
指定文字的起点或 [对正(J)/样式(S)]：
指定高度 <2.5000>: 3
指定文字的旋转角度 <0>:
输入文字：
```

此时，在指定文字的起点处，显示一个文字输入框和相应的光标，即可输入文字。

操作说明：

① 对正：该选项确定所标注文本的排列方式。执行该选项后，在系统提供各种排列方式中选择其一执行。

② 样式：确定标注文本时所用的文字样式。

4. 创建多行文字

功能：创建文字行和段落。一次输入的多行文字是一个对象，可以进行移动、复制和缩放等操作。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→ A

2）菜单：【绘图】→【文字】→【多行文字】

3）命令行：MTEXT ↙

MTEXT 命令的窗口提示：

```
命令：_MTEXT 当前文字样式： "Standard"  文字高度： 2.5000  注释性： 否
指定第一角点：
指定对角点或 [高度(H)/对正(J)/行距(L)/旋转(R)/样式(S)/宽度(W)/栏(C)]：
```

操作说明：

① 按命令行提示指定对角点后，显示【文字格式】工具栏，见图 12-11。在该工具栏中可以输入文本内容，也可以设置文字样式、字体、字高、文字的加粗及倾斜等属性。

② 多行文字对象的宽度如果用定点设备来指定点，那么宽度为起点与指定点之间的距离。如果指定的宽度为零，就会关闭文字换行，多行文字对象全部出现在一行上。

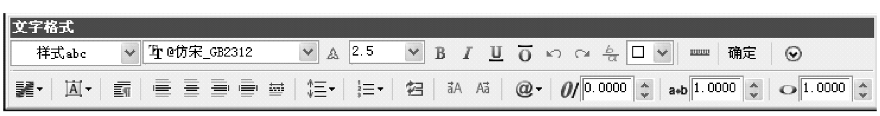


图 12-11　【文字格式】工具栏

③ 编辑多行文字。可编辑文字段落的对齐方式、行距，修改和编辑文字。

④ 单击【文字格式】工具栏中的按钮，弹出的下拉列表框中，提供了多种文字编辑的选项。其中提供了一些常用的但键盘上又没有的特殊字符的输入手段，它的输入方式用两个百分号“%%”加以控制，具体格式如下：

%%d ——绘制度的符号，即“°”。

%%p ——绘制正负公差符号，即“±”。

%%c ——绘制直径符号，即“ϕ”。

%%%——绘制百分号，即“%”。

还可以进行平方、立方、下标等字符的注写。

三、AutoCAD 辅助绘图功能

在绘制工程图样时，需要保证绘图操作的精确性。AutoCAD 提供了强大的精确绘图的辅助工具，如捕捉、栅格、正交、极轴、对象捕捉及对象追踪等。其中，极轴和对象追踪为自动追踪模式，即光标跟随参照线确定点位置的方法。将自动追踪和对象捕捉功能结合起来应用，可以使图形的绘制更加精确、快捷和方便。

捕捉、栅格、正交、极轴、对象捕捉及对象追踪等辅助功能的启动和关闭只需单击状态栏中相应的按钮即可。其各项功能的作用与操作分述如下：

1. 精确辅助绘图类命令

（1）对象捕捉　在绘图命令运行期间，可以用光标捕捉对象上的几何特征点，如端点、中点、切点、圆心和交点等。捕捉点的步骤如下：

1）启动需要指定点的命令（如 Line、Circle、Move、Copy）。

2）当命令提示指定点时，使用以下方法之一选择一种对象捕捉：

① 右键单击某一工具栏弹出一个快捷菜单，单击其中的【对象捕捉】选项就会弹出一个如图12-12所示的【对象捕捉】工具栏，从中单击某一按钮即选择了一种对象捕捉方式。

② 按住【Shift】键并在绘图区域中单击右键，从快捷菜单中选择一种对象捕捉方式。

③ 在命令行中输入一种对象捕捉的缩写（前三个大写字母）。

将光标移动到捕捉位置上，然后单击选中捕捉对象。

常用的捕捉对象有：ENDpoint（端点）、MIDpoint（中点）、INTersection（交点）、

APParent intersect（外观交点）、CENter（圆心）、QUAdrant（象限点）、NODe（节点）、INSert（插入点）、PERpendicular（垂足）、PARallel（平行）、TANgent（切点）、NEArest（最近点）、NONe（无）、EXTension（延伸）等。

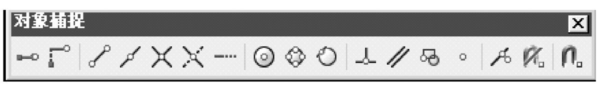


图 12-12　【对象捕捉】工具栏

以上捕捉方式仅对当次对象捕捉操作有效，即捕捉到一点后，自动关闭对象捕捉功能，所以称为单点对象捕捉。为此，AutoCAD 还提供了自动对象捕捉功能。设置自动捕捉功能的操作方法如下：

1）在菜单栏选择【工具】→【草图设置】命令，或在状态栏的【对象捕捉】按钮上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选中“设置”，即会弹出【草图设置】对话框。然后，选择【对象捕捉】选项卡，见图 12-13。

2）在图 12-13 的方框中勾选要捕捉的特征点，单击【确定】按钮，在状态栏的【对象捕捉】打开时，即可执行对选定对象的自动捕捉。

说明：

① 除了用上面介绍的两种方法可以打开自动对象捕捉外，还可以通过命令行来打开，即命令：Osnap↙

② 如果自动捕捉模式打开，每当正在执行的命令需要指定点时，AutoCAD 会自动捕捉指定模式的特征点。

③【对象捕捉】选项组中可以同时选择多个特征点类型，见图 12-13。

（2）栅格

功能：控制是否在当前窗口中显示栅格，以及栅格的间距。

命令输入方法：

1）菜单：【工具】→【草图设置】→【捕捉和栅格】

2）状态栏：栅格

3）命令行：Grid↙

4）快捷键：F7

在图 12-14 中设置所需的 X、Y 轴的栅格间距。

说明：

栅格仅用于视觉参考，它既不能被打印，也不被认为是图形的一部分。

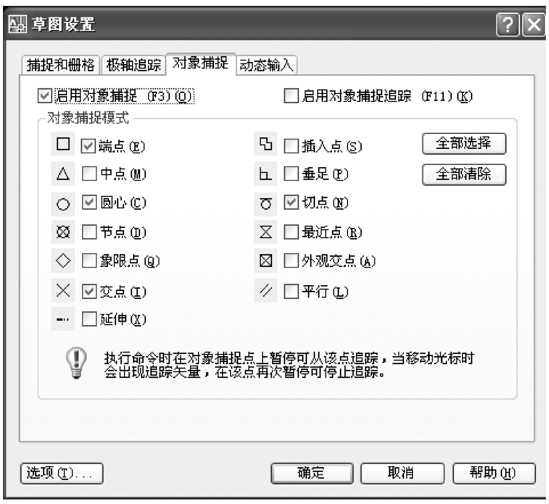


图 12-13 【草图设置】/【对象捕捉】对话框



图 12-14 【草图设置】/【捕捉和栅格】对话框

（3）捕捉

功能：规定光标按指定的间距移动，通过此命令可以将定点设备输入的点与捕捉栅格对齐。可以旋转捕捉栅格，设置不同的 X 和 Y 轴间距，或者选择等轴测模式的捕捉栅格。

命令输入方法：

1）菜单：【工具】→【草图设置】→【捕捉和栅格】

2）状态栏：捕捉

3）命令行：Snap↙

4）快捷键：F9

Snap 命令的窗口提示：

```
命令：Snap
指定捕捉间距或 [开(ON)/关(OFF)/纵横向间距(A)/样式(S)/类型(T)] <10.0000>:
```

选项：

① 捕捉间距：指定捕捉栅格间距并激活“捕捉”模式。

② 开：用当前栅格的分辨率、旋转角和模式激活“捕捉”模式。

③ 关：关闭“捕捉”模式但保留值和模式的设置。

④ 纵横向间距：为捕捉栅格指定 X 和 Y 轴间距。如果当前捕捉模式为“等轴测”，不能使用该选项。

⑤ 样式：指定“捕捉”栅格的样式为标准或等轴测。其中，“标准”是显示平行于当前 UCS 的 XY 平面的矩形栅格，X 和 Y 轴的间距可以不同；“等轴测”是显示等轴测栅格，此处栅格点初始化为 30°和 150°角，等轴测捕捉可以旋转，但不能有不同的“纵横向间距”值。

⑥ 类型：指定极轴或栅格捕捉类型。

上述选项内容也可以在图 12-14 的【草图设置】对话框中进行设置。

（4）正交

功能：以正交方式约束光标只在水平或垂直方向上移动。

命令输入方法：

1）状态栏：正交

2）命令行：Ortho ↙

3）快捷键：F8

（5）等轴测平面

功能：提供绘制正等轴测图的等轴测平面。

命令输入方法：

1）命令行：Isoplane ↙

2）快捷键：F5

说明：

① 仅在捕捉模式打开并且捕捉类型为等轴测捕捉时，等轴测平面才会影响光标的移动。如果捕捉样式是等轴测，即使捕捉模式是关闭的，正交模式仍使用对应的一对轴。当捕捉类型为标准时，Isoplane 命令不影响光标的移动。

② 左侧平面由一对 90°和 150°的轴定义。顶面由一对 30°和 150°的轴定义。右侧平面由一对 90°和 30°的轴定义。单击【F5】可以依次轮换等轴测平面。

2. 图形显示控制类命令

用 AutoCAD 绘图时，经常需要对当前图形进行缩放、平移、刷新和重新生成等操作。系统提供了多种显示图形的方式。在编辑图形时，如果想查看所作修改的整体效果，可以通过缩放图形显示来改变大小或通过平移重新定位视图在绘图区域中的位置。

必须指出：显示控制命令只能改变图形在屏幕上显示时的视觉大小，而不会改变图形实际尺寸的大小。

（1）ZOOM 命令

功能：放大或缩小当前窗口对象的外观尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标准】→（实时缩放）、（窗口缩放）、（缩放上一个）

2）菜单：【视图】→【缩放】

3）命令行：ZOOM ↙

ZOOM 命令的窗口提示：

```
命令：ZOOM
指定窗口的角点，输入比例因子 (nX 或 nXP)，或者
[全部(A)/中心(C)/动态(D)/范围(E)/上一个(P)/比例(S)/窗口(W)/对象(O)] <实时>:
```

选项说明：

① 全部（A）：在当前窗口中缩放显示整个图形，其范围取决于图形所占范围和绘图界限中较大的一个。

② 中心（C）：缩放显示由中心点和缩放比例（或高度）所定义的窗口。高度值较小时增加缩放比例，高度值较大时减小缩放比例。

③ 动态（D）：缩放显示在视图框中的部分图形。

④ 范围（E）：缩放显示图形范围。

⑤ 上一（P）：缩放显示前一幅图形，可连续使用多次。

⑥ 比例（S）：以指定的比例因子缩放显示。

⑦ 窗口（W）：缩放显示由两个角点定义的矩形窗口框选定的区域。

⑧ 实时：选择该选项后，按住鼠标左键作上下移动，向上移动图形放大，向下移动图形缩小。按【Esc】键或“↙”键退出，或单击右键弹出快捷菜单选择“退出”。

（2）Pan 命令

功能：移动当前窗口中显示的图形。

命令输入方法：

1）工具栏：【标准】→（实时平移）

2）菜单：【视图】→【平移】

3）命令行：Pan↙

Pan 命令的窗口提示：

```
命令：Pan
按 Esc 或 Enter 键退出，或单击右键显示快捷菜单。
```

选项说明：

① 实时平移。光标变为手形光标。此时按住鼠标的左键并移动光标，窗口中的图形随光标向同一方向同步移动。任何时候要停止平移，松开鼠标左键，并按“↙”键或【Esc】键。

② AutoCAD 还提供了平移命令的其他选项，这些选项可以从【视图】→【平移】的子菜单中选择。可实现定点、上下或左右的移动操作。

（3）重画

功能：刷新显示当前窗口，删除标记点和由编辑命令留下的杂乱显示内容。

命令输入方法：

1）菜单：【视图】→【重画】

2）命令行：Redraw↙

执行该命令后回车，当前屏幕上的图形被刷新。

（4）重生成

功能：重新生成当前视窗内全部的图形并显示出来。它还重新建立图形数据库索引，从而优化显示和对象选择的性能。

命令输入方法：

1）菜单：【视图】→【重生成】

2）命令行：Regen↙

执行该命令后回车，系统重新生成窗口内图形并显示出来。绘图中若重新设置了新的比例因子，通过“重生成”才会显现出来。

四、AutoCAD 二维编辑修改命令

在绘图过程中，利用 AutoCAD 图形编辑的命令，可对图形对象进行删除、复制、移动、旋转、缩

放、偏移、修剪、阵列和参数修改等操作，以帮助用户快捷、准确地绘制图样。图 12-15 所示为【修改】工具栏。



图 12-15　【修改】工具栏

1. 构造选择集

图形的编辑都需要选择对象，AutoCAD 常用的选择对象的方法如下：

1）直接拾取。移动鼠标将拾取框对上被选对象，单击鼠标左键。

2）选择窗口（W）。用鼠标点取左侧角点（第一点）向右拖动定义窗口的右侧角点（第二点），则定义的窗口为选择窗口。在两对角点形成的窗口中，只有完全在窗口内的图元被选中。图元有任何一部分在窗口外都不能被选中。

3）交叉窗口（C）。用鼠标点取右侧角点向左拖动定义窗口的左侧角点，则定义的窗口为交叉窗口。此时所有完全或部分在窗口内的图元均被选中。

AutoCAD 还提供有其他构造选择集的方法（略）。

构造选择集时要注意：

1）AutoCAD 的对象选择可以是上述方法的任意组合。

2）图形的编辑命令构成是：命令操作 + 对象选择。AutoCAD 提供两种操作方式：

① 动名选项。先输入图形编辑命令，然后 AutoCAD 通常重复提示选择对象直至回车，完成对象选择。选择对象时可以任选一种方法，选中的对象变成虚线或增亮，同时 AutoCAD 提示有多少对象被选中，如选中的对象中前面的选择有重复，AutoCAD 还提示多少对象重复。

② 名动选项。先选对象，选中的对象在图元的关键点处有一小方框，为该图元的特征点。

然后输入某个修改命令，进行图形的编辑。

2. 图形修改命令

（1）删除

功能：删除图形中的部分或全部图元。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【删除】

3）命令行：Erase ↙

说明：选择【删除】命令后，屏幕上的十字光标变成一个拾取框，要求用户选择删除对象，然后单击回车键或空格键结束命令，选择的对象被删除。

（2）打断

功能：选择两点将线、圆弧断开为两段。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【打断】

3）命令行：Break ↙

说明：

① 打断对象时，需确定两个断点。可以将选择对象处作为第一个断点，再选定第二断点，两点间

被打断。第二点不一定要位于图元上，AutoCAD 会自动找到图元上离该点的最近点为断点。如果第二断点在对象的端点上或端点之外，则该段对象被删除。

② 断开圆时要注意两点的顺序，AutoCAD 总是按逆时针方向断开。

（3）修剪

功能：以某些图元作为边界（剪切边），将另外某些图元不需要的部分剪掉。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【修剪】

3）命令行：Trim ↙

Trim 命令的窗口提示：

```
命令： Trim
当前设置:投影=UCS，边=无
选择剪切边...
选择对象或 <全部选择>:  找到 1 个
选择对象：指定对角点：找到 1 个，总计 2 个
选择对象：
选择要修剪的对象，或按住 Shift 键选择要延伸的对象，或
[栏选(F)/窗交(C)/投影(P)/边(E)/删除(R)/放弃(U)]:
选择要修剪的对象，或按住 Shift 键选择要延伸的对象，或
[栏选(F)/窗交(C)/投影(P)/边(E)/删除(R)/放弃(U)]:
```

说明：

在使用【修剪】命令时，先选择修剪边界，单击“↙”键，然后选择被修剪的对象。AutoCAD 修剪对象将使用最靠近的候选对象作为剪切边。

该命令执行中，修剪边界可以选择多个，可单选或窗选。根据 AutoCAD 重复修剪对象的提示，被修剪对象也可以是多个。

（4）延伸

功能：以某些图元为边界，将另外一些图元延伸到此边界。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【延伸】

3）命令行：Extend ↙

Extend 命令的窗口提示：

```
命令： Extend
当前设置:投影=UCS，边=无
选择边界的边...
选择对象或 <全部选择>:  找到 1 个
选择对象：
选择要延伸的对象，或按住 Shift 键选择要修剪的对象，或
[栏选(F)/窗交(C)/投影(P)/边(E)/放弃(U)]:
选择要延伸的对象，或按住 Shift 键选择要修剪的对象，或
[栏选(F)/窗交(C)/投影(P)/边(E)/放弃(U)]:
```

执行该命令时，先选择延伸的边界对象，单击“↙”键后选择要延伸的对象。

（5）移动

功能：将图元从图形的一个位置移到另一个位置。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【移动】

3）命令行：Move ↙

Move 命令的窗口提示：

```
命令： Move
选择对象： 找到 1 个
选择对象：
指定基点或 [位移(D)] <位移>：  指定第二个点或 <使用第一个点作为位移>：
```

说明：

移动对象选择完毕后，指定两个点定义了一个位移矢量。该矢量指明了被选定对象的移动距离和移动方向。如果在确定第二个点时按“↙”键，那么第一个点的坐标值就被认为是位移量。

（6）旋转

功能：将图元绕某一基准点作旋转。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【旋转】

3）命令行：Rotate↙

Rotate 命令的窗口提示：

```
命令： _Rotate
UCS 当前的正角方向： ANGDIR=逆时针  ANGBASE=0
选择对象：找到 1 个
选择对象：
指定基点：
指定旋转角度，或 [复制(C)/参照(R)] <0>：
```

说明：

执行该命令时，先选择要旋转的对象（可以选择多个对象），选择完毕后，指定基准点，然后选择：

① 旋转角度：直接输入对象绕基点旋转的角度值。角度为正时，逆时针旋转；角度为负时，顺时针旋转。

② 复制：使用该选项，可对旋转的图形进行复制操作。

③ 参照：该选项以参照方式旋转对象，需依次指定参照方向的角度值和相对于参照方向的角度值。

（7）缩放

功能：将图元按一定比例放大或缩小。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【缩放】

3）命令行：Scale↙

Scale 命令的窗口提示：

```
命令： _Scale
选择对象：找到 1 个
选择对象：
指定基点： <对象捕捉 开>
指定比例因子或 [复制(C)/参照(R)] <1.0000>：
```

说明：

选择要缩放的对象，然后指定基点（即缩放中心点），然后选择：

① 比例因子。按指定的比例缩放选定对象。大于1的比例因子使对象放大，介于0和1之间的比例因子使对象缩小。

② 复制。按比例缩放所选对象并保留原被缩放对象。

③ 参照。按参照长度和指定的新长度比例缩放所选对象。

(8) 拉伸

功能：将图形某一部分拉伸、移动和变形，其余部分不动。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【拉伸】

3) 命令行：Stretch ↙

Stretch 命令的窗口提示：

```
命令： Stretch
以交叉窗口或交叉多边形选择要拉伸的对象...
选择对象：指定对角点：找到 3 个
选择对象：
指定基点或 [位移(D)] <位移>:
指定第二个点或 <使用第一个点作为位移>:
```

说明：

只能使用交叉窗口选择要拉伸的对象，选择窗口内的对象被执行拉伸操作，而不改变窗口外的端点。其余操作类似【Move】命令。

(9) 分解

功能：将一个组合对象分解为多个组成对象。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【分解】

3) 命令行：Explode ↙

说明：

执行该命令后，只能分解同组中的一级，需要时再用本命令分解下一级。

该命令多用于分解多段线、图块、尺寸等复合对象。

(10) 合并

功能：可将直线、圆弧、椭圆弧等独立的线段合并成一个实体。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【合并】

3) 命令行：Join ↙

说明：

① 被合并的直线对象必须共线。

② 被合并的圆弧对象必须位于同一假想圆上。

(11) 复制

功能：用于对图中已有对象进行复制。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【复制】

3) 命令行：Copy ↙

Copy 命令的窗口提示：

```
命令： Copy
选择对象：找到 1 个
选择对象：
当前设置： 复制模式 = 多个
指定基点或 [位移(D)/模式(O)] <位移>：指定第二个点或 <使用第一个点作为位移>:
指定第二个点或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>:
指定第二个点或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>:
```

选项说明：

执行命令后，按命令提示选择要复制的对象后的选项有：

① 指定基点：复制对象的参考点。

② 位移：给出原对象和复制对象之间的位移矢量。

③ 模式：设置单一复制或多重复制。系统默认多重复制模式。

④ 指定第二个点：以第一个点为基点，用指定第二个点来确定位移矢量。

操作中也可以用“E”响应，表示退出，结束该命令。或用“U”响应，表示放弃前一次复制。

（12）阵列

功能：创建按指定方式排列的多个复制对象。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

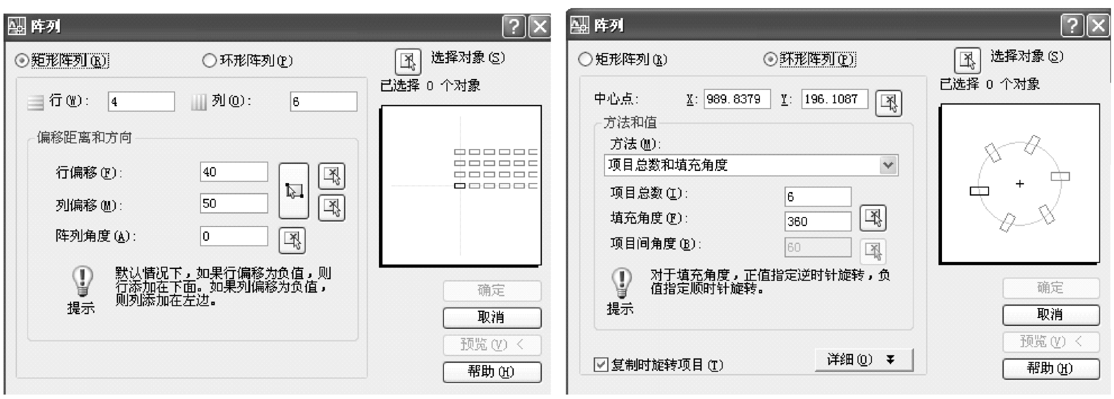
2）菜单：【修改】→【阵列】

3）命令行：Array ↙

说明：

执行【阵列】命令后，弹出【阵列】对话框，见图12-16。阵列分为矩形阵列和环形阵列两种。

① 矩形阵列。单击对话框中的【选择对象】按钮，选择要阵列的对象；在“行”与“列”的文本框中输入矩形阵列的行数和列数，创建由选定的对象组成的阵列，见图12-16a。如果只指定了一行，则在指定列数时，列数一定要等于或大于二，反之亦然；在“偏移距离和方向”的文本框中输入矩形阵列的行间距值、列间距值及阵列角度值，或单击右侧的按钮用鼠标指定行、列间距与方向；单击【确定】按钮，完成矩形阵列。



a)　　　　b)

图12-16 【阵列】对话框

② 环形阵列。创建由指定中心点或基点定义的阵列，将在这些指定中心点或基点周围作圆形或扇形排列，见图12-16b。在“方法和值”的文本框中输入阵列方法、环形阵列的项目总数及填充角度或项目间角度之一；单击对话框中的【选择对象】按钮，选择要阵列的对象；单击“中心点”选项中的【拾取中心点】按钮，选择阵列的中心点；单击【确定】按钮，完成环形阵列。

（13）镜像

功能：创建对象的镜像副本。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【镜像】

3）命令行：Mirror ↙

Mirror 命令的窗口提示：

```
命令： _Mirror
选择对象：指定对角点：找到 1 个
选择对象：
指定镜像线的第一点：指定镜像线的第二点：
要删除源对象吗？[是(Y)/否(N)] <N>:
```

说明：

① 先选择镜像的对象，然后输入镜像线，输入是否删除源对象，即可产生镜像。

② 镜像线由两点确定，可以是已知直线，也可以直接指定两点。

(14) 偏移

功能：创建指定距离的同心圆、平行线和定距曲线。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【偏移】

3) 命令行：Offset ↙

Offset 命令的窗口提示：

```
命令： _Offset
当前设置：删除源=否　图层=源　OFFSETGAPTYPE=0
指定偏移距离或 [通过(T)/删除(E)/图层(L)] <12.0000>:
选择要偏移的对象，或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>:
指定要偏移的那一侧上的点，或 [退出(E)/多个(M)/放弃(U)] <退出>:
选择要偏移的对象，或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>:
```

说明：

① 先输入偏移距离，再选择要偏移复制的对象，然后指定偏移方向，即完成偏移操作。

② 在命令行输入“T”，再选择要偏移复制的对象，然后指定一个通过点，这时复制出的对象经过通过点。

③ 偏移命令是一个单对象编辑命令。使用中以直接拾取方式来选择对象，通过指定偏移距离的方式来平行复制对象。

(15) 圆角

功能：用一个指定半径的圆弧光滑连接两个对象。

命令输入方法：

1) 工具栏：【修改】→

2) 菜单：【修改】→【圆角】

3) 命令行：Fillet ↙

Fillet 命令的窗口提示：

```
命令： _Fillet
当前设置：模式 = 修剪，半径 = 0.0000
选择第一个对象或 [放弃(U)/多段线(P)/半径(R)/修剪(T)/多个(M)]:
指定圆角半径 <0.0000>:
选择第一个对象或 [放弃(U)/多段线(P)/半径(R)/修剪(T)/多个(M)]:
选择第二个对象，或按住 Shift 键选择要应用角点的对象:
```

说明：

① 圆角命令给两个圆弧、圆、椭圆弧、直线、多段线之间添加一段指定半径的圆弧。

② 执行圆角命令时先输入“R”，回车后输入圆角半径值，再分别选择被连接的两个对象，完成圆角连接。

③ 执行圆角命令时，若要保留原线段可输入“T”，回车后在输入修剪模式提示下，输入不修剪“N”，即保留原图线。

（16）倒角

功能：使两个不平行的直线类对象的边加倒角。

命令输入方法：

1）工具栏：【修改】→

2）菜单：【修改】→【倒角】

3）命令行：Chamfer↙

Chamfer 命令的窗口提示：

```
命令: _Chamfer
("修剪"模式) 当前倒角距离 1 = 5.0000, 距离 2 = 5.0000
选择第一条直线或 [放弃(U)/多段线(P)/距离(D)/角度(A)/修剪(T)/方式(E)/多个(M)]:  D
指定第一个倒角距离 <5.0000>: 3
指定第二个倒角距离 <3.0000>: 3
选择第一条直线或 [放弃(U)/多段线(P)/距离(D)/角度(A)/修剪(T)/方式(E)/多个(M)]:
选择第二条直线, 或按住 Shift 键选择要应用角点的直线:
```

说明：

执行倒角命令时先输入距离“D”，回车后输入倒角距离值，再分别选择被连接的两个对象，完成倒角。

① 第一条直线：指定二维倒角所需的两条边中的第一条边，然后选择第二条直线。

② 多段线：对整个二维多段线作倒角处理。

③ 距离：设置选定边的倒角距离。如果将两个距离都设置为零，将延长或修剪相应的两条线，以使二者相交于一点。

④ 角度：通过第一条线的倒角距离和第二条线的倒角角度设定倒角距离。

⑤ 修剪：控制是否将选定边修剪到倒角线端点。

⑥ 方式：控制使用两个距离还是一个距离、一个角度来创建倒角。

第四节　尺寸标注与块操作

一、尺寸标注

1. 尺寸标注概念

尺寸是机械图样不可缺少的一项内容。AutoCAD 2008 提供了完善的尺寸标注和尺寸样式定义功能。只要指出标注对象，即可根据所选尺寸样式自动计算尺寸大小进行标注。AutoCAD 的基本尺寸标注有：线性、对齐、直径、半径、角度和坐标标注，另外还有旁注线标注等。AutoCAD 的尺寸标注形式完全由尺寸样式（变量）控制，尺寸标注过程是向图形中添加测量注释的过程，需要按绘图要求设定尺寸标注样式。图 12-17 是 AutoCAD 的【样式】工具栏，单击其中的某一项可对文字样式、尺寸标注样式、表格样式和多重引线样式作设置。



图 12-17　【样式】工具栏

2. 设置尺寸标注样式

在图上进行标注尺寸前，应对尺寸的标注样式进行设置。为了便于管理，用户应该创建一个独立的图层，用于尺寸标注。

（1）尺寸标注样式命令

功能：创建或修改标注样式。

命令输入方法：

1）工具栏：【样式】→ 。

2）菜单：【格式】→【标注样式】或【标注】→【标注样式】

3）命令行：Dimstyle ↙

执行命令后，弹出【标注样式管理器】对话框，见图 12-18。标注样式是一组已命名的标注设置，这些标注设置用来决定标注的外观。通过创建样式，可以快速方便地设置所有相关的标注系统变量，并且控制任何标注的布局和外观。

用【标注样式管理器】可以预览标注样式，创建新的标注样式，修改现有标注样式，设置标注样式替代值，设置当前标注样式，比较标注样式，给标注样式重命名，删除标注样式。

① 当前标注样式：显示当前标注样式。AutoCAD 对所有的标注都指定样式。如果不改变当前标注样式，指定“ISO-25”为默认标注样式。

② 样式：显示当前图形的所有标注样式。当显示此对话框时，AutoCAD 突出显示当前标注样式。要设置别的样式为当前标注样式，可以从“样式”下选择一种样式，然后选择【置为当前】按钮。

③ 列出：提供显示标注样式的选项。

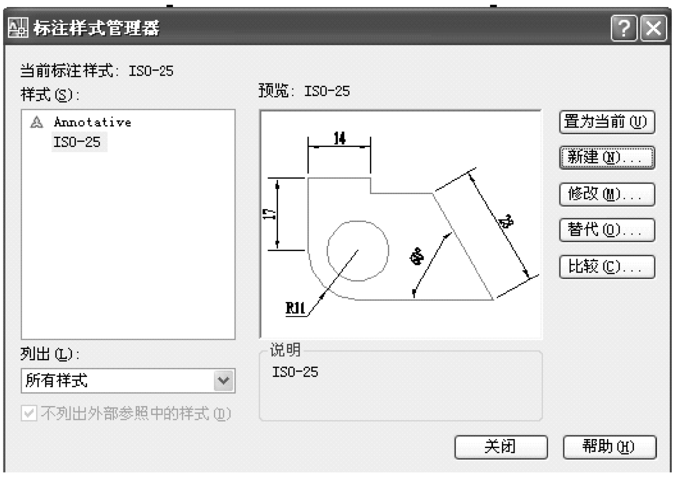


图 12-18　【标注样式管理器】对话框

④ 新建：显示【创建新标注样式】对话框，见图 12-19。在此可以定义新的标注样式。在新样式名文本框中输入样式名，单击【继续】按钮，打开图 12-20【新建标注样式】对话框进行设置，设置完成后，单击【确定】返回图 12-18 对话框。再依次单击【置为当前】、【关闭】按钮，完成创建新标注样式的设置。



图 12-19　【创建新标注样式】对话框

⑤ 修改：显示【修改标注样式】对话框，在此可以修改标注样式。对话框见图 12-21。

⑥ 替代：显示【替代当前样式】对话框，在此可以设置标注样式的临时替代值。对话框的选项与【修改标注样式】对话框的选项相同。

⑦ 比较：显示【比较标注样式】对话框，在此可以比较两种标注样式的特性或浏览一种标注样式的全部特性。

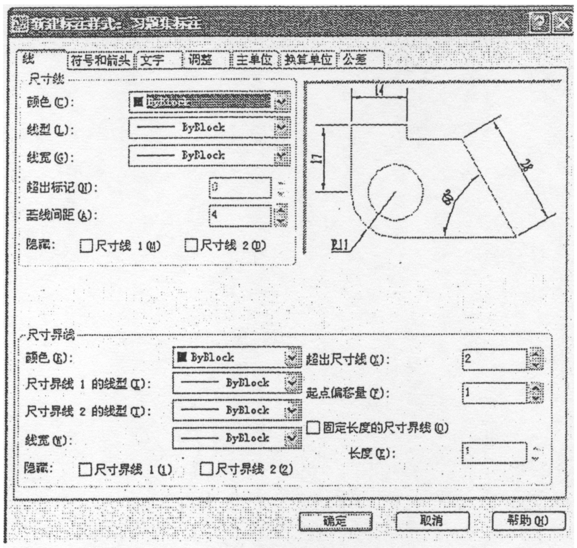


图 12-20 【新建标注样式】对话框

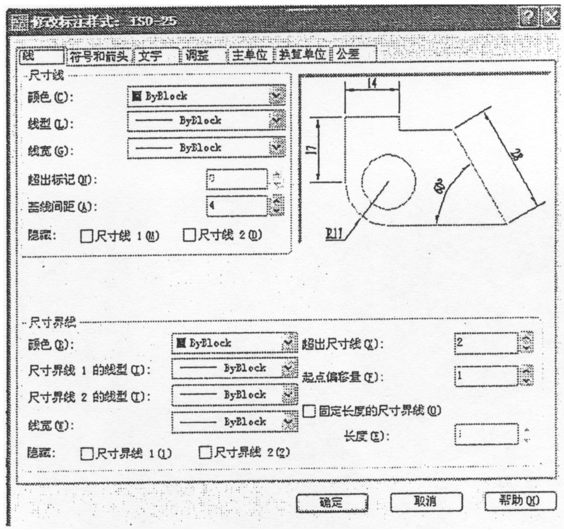


图 12-21 【修改标注样式】对话框

（2）标注样式各选项卡的作用　如图 12-20 所示，在【新建标注样式】对话框中，有线、符号和箭头、文字、调整、主单位、换算单位和公差七个选项卡，下面介绍各选项卡的作用。

1）【线】选项卡：由“尺寸线”“尺寸界线”两个选项组组成，用来设置尺寸线、尺寸界线的格式和特性，见图 12-20。

① 尺寸线：设置尺寸线的特性。其中，“颜色”显示并设置尺寸线的颜色；“线宽”设置尺寸线的线宽；“超出标记”指定当箭头使用斜尺寸界线、建筑标记等时，尺寸线超过尺寸界线的距离；“基线间距”设置基线标注时各尺寸线间的距离；“隐藏”用来控制尺寸线的可见性。当尺寸线及箭头的一侧不需要显示时，勾选“尺寸线 1”或“尺寸线 2”的复选框后，分别隐藏尺寸线及箭头的某一侧；同时选中两个复选框，则标注时不显示尺寸线及箭头。

② 尺寸界线：控制尺寸界线的外观。其中，“颜色”“线宽”与尺寸线相同，“超出尺寸线”指定尺寸界线超出尺寸线的距离；“起点偏移量”用于设置尺寸界线到定义该标注的原点的偏移距离；“隐藏”选项控制尺寸界线显示，勾选“尺寸界线 1”或“尺寸界线 2”的复选框后，可分别隐藏一条尺寸界线或第二条尺寸界线；“固定长度的尺寸界线”选项可为尺寸界线指定长度。

2）【符号和箭头】选项卡：该选项卡见图 12-22，由“箭头”“圆心标记”“弧长符号”等选项组组成。

① 箭头：用“箭头”下拉列表框选择尺寸线端部符号的外观形式，也可以为第一条尺寸线和第二条尺寸线指定不同的箭头；“引线”下拉列表框列出尺寸线引线部分的形式；

“箭头大小”框中显示和设置箭头的大小。

② 圆心标记：控制直径标注和半径标注的圆心标记和中心线的外观。其中提供三种圆心标记类型选项：标记（创建圆心标记）、直线（创建中心线）、无（不创建圆心标记或中心线）；右侧框中显示和设置圆心标记或中心线的大小。

③ 弧长符号：该选项组用于控制弧长符号的放置位置，选择弧长符号放在标注文字的前面或上方。

④ 半径折弯标注：该选项可以使用户利用折弯来标注半径。

3）【文字】选项卡：设置标注文字的格式、放置和对齐。

单击【文字】选项卡，弹出如图12-23所示对话框，由“文字外观”“文字位置”“文字对齐”选项组组成。

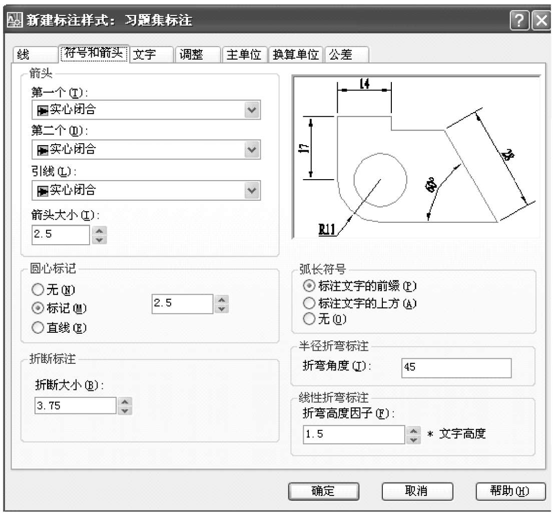


图12-22　【新建标注样式】/【符号和箭头】对话框

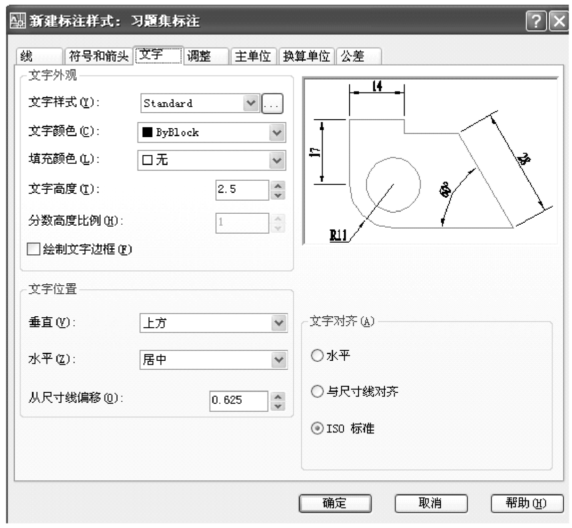


图12-23　【新建标注样式】/【文字】对话框

① 文字外观：控制标注文字的格式和大小。其中，“文字样式”显示和设置当前标注文本样式；“文字颜色”显示和设置标注文字的颜色；“填充颜色”设置文字的背景色；“文字高度”显示和设置当前标注文字的高度；“分数高度比例”设置分数尺寸文本的相对字高系数；“绘制文字边框”勾选后可在标注文字的周围绘制一个边框。

② 文字位置：设置标注文字的放置位置。其中，“垂直”控制标注文字沿着尺寸线垂直对正，“垂直”包含置中、上方、外部等；“水平”控制标注文字沿着尺寸线和尺寸界线的水平对正，“水平”包括置中、第一条尺寸界线（沿尺寸线与第一条尺寸界线左对正）、第二条尺寸界线、第一条尺寸界线上方、第二条尺寸界线上方；“从尺寸线偏移”显示和设置尺寸线与标注文字间的距离。

③ 文字对齐：设置标注文字的方向。“水平”选项表示标注文字沿水平线放置；“与尺寸线对齐”选项表示标注文字沿尺寸线方向放置；“ISO标准”选项表示标注文字在尺寸界线之间，沿尺寸线的方向放置，当标注文字在尺寸界线外侧时，则水平放置标注的文字。

4）【调整】选项卡：控制和调整各尺寸要素之间的相对位置。包括标注文字、箭头、引线和尺寸线的放置，见图12-24。各选项组作用如下：

① 调整选项：根据两条尺寸界线间的距离确定标注文字和箭头是放在尺寸界线外还是尺寸界线内。当两条尺寸界线间的距离够大时，AutoCAD总是把文字和箭头放在尺寸界线之间。否则，根据“调整选项”放置文字和箭头。

② 文字位置：文字不在默认位置上时，设置标注文字的放置位置。

③ 标注特征比例：设置全局标注比例或图纸空间比例。其中，“使用全局比例”用来设定整体比例系数，以此控制各尺寸要素的比例；“将标注缩放到布局”用来设置图纸空间尺寸元素的比例因子。

④ 优化：“手动放置文字”忽略所有水平对正



图12-24　【新建标注样式】/【调整】对话框

设置，系统允许自行指定尺寸数字的位置；“在尺寸界线之间绘制尺寸线”选项控制尺寸箭头在尺寸界线之外时，两尺寸界线之间是否绘制尺寸线。

5）【主单位】选项卡：用于设置主单位的格式和精度，设置标注文字的前缀和后缀。

① 线性标注：设置线性标注的格式和精度。其中，“单位格式”设置除了角度之外的所有标注类型的当前单位格式；“精度”显示和设置标注文字在十进制下，用几位小数来显示标注文字；“分数格式”设置分数的格式；“小数分隔符”设置十进制格式的分隔符，可选择的选项包括句号、逗号和空格；“舍入”设置除了角度之外的所有标注类型的标注测量值的四舍五入规则；“前缀”在标注文字中包含前缀；“后缀”在标注文字中包含后缀；“测量单位比例”设置除了角度之外的所有标注类型的线性标注测量值比例因子；“消零”控制前导 0 和后续 0 是否输出。

② 角度标注：显示和设置角度标注的角度格式。其中，“单位格式”设置角度单位格式，包括“十进制度数”“度/分/秒”“百分度”和“弧度”；“精度”显示和设置角度标注的小数位数；“消零”控制前导 0 和后续 0 是否输出。

6）【换算单位】选项卡：用来设置公、英制等换算尺寸单位的格式、精度以及换算单位倍数，默认单位格式是小数。

7）【公差】选项卡：用来控制尺寸公差标注的格式，见图 12-25。各选项组作用如下：

① 方式：在“方式”下拉列表框有五种选项。“无”选项，表示无公差标注；“对称”选项，表示上、下极限偏差同值标注；“极限偏差”选项，表示上、下极限偏差不同值标注；“极限尺寸”选项，表示用上、下极限尺寸标注；“基本尺寸”[1]选项，表示尺寸数字加一矩形框。

② 精度：设置公差值的小数位数。

③ 上偏差和下偏差：指定上、下偏差值。

④ 高度比例：设置公差文字与基本尺寸数字高度的比例。

⑤ 垂直位置：控制极限公差的文字对正方式，包括上、中、下三种方式。

⑥ 公差对齐：控制公差对齐的方式。

⑦ 消零：设置是否消除公差值的前导零和后续零。

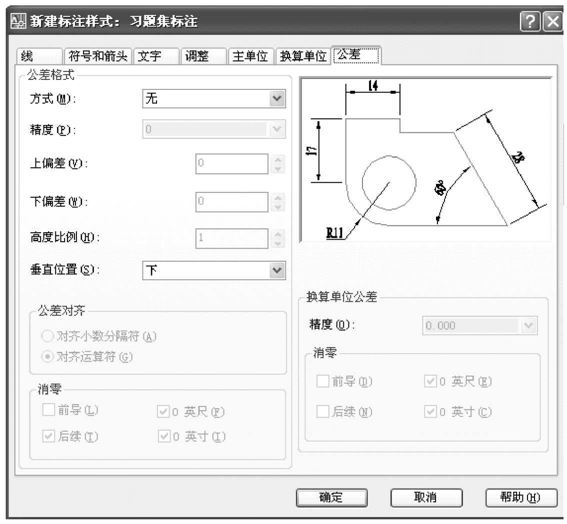


图 12-25 【新建标注样式】/【公差】对话框

在完成尺寸标注样式设置后，就可以用 AutoCAD 提供的尺寸标注命令对图形进行尺寸标注。

已经设置的尺寸标注也可以修改和替代。在【标注样式管理器】对话框（参见图 12-18）的“样式”列表框中，选择需要修改或代替的标注样式，单击【修改】或【替代】按钮，在弹出的【修改标注样式】对话框（参见图 12-21）中对尺寸标注样式的参数进行修改；【替代当前样式】对话框中参数的设置方法和步骤与上述过程类似。

3. 尺寸标注方法

AutoCAD 2008 提供了多种尺寸标注的方式。【标注】工具栏见图 12-26。下面介绍常用的尺寸标注方式。

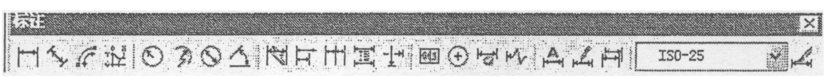


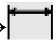
图 12-26 【标注】工具栏

[1] 在 GB/T 1800.1—2009 中，分别用公称尺寸、上极限尺寸、下极限尺寸、上极限偏差、下极限偏差代替旧标准中的基本尺寸、最大极限尺寸、最小极限尺寸、上偏差、下偏差。

（1）线性标注

功能：标注线性尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【线性】

3）命令行：Dimlinear↙

Dimlinear 命令执行过程的窗口提示：

```
命令： _Dimlinear
指定第一条尺寸界线原点或 <选择对象>:
指定第二条尺寸界线原点:
指定尺寸线位置或
[多行文字(M)/文字(T)/角度(A)/水平(H)/垂直(V)/旋转(R)]:
标注文字 = 24
```

说明：

① 尺寸界线起点：指定第一条尺寸界线起点，接着指定第二条尺寸界线起点，然后选择“尺寸线位置”。“尺寸线位置”是使用指定的点来定位尺寸线并确定绘制尺寸界线的方向，指定位置之后完成尺寸标注。其中，选项“多行文字”用来编辑标注文字；“文字”提示在命令行输入新的标注文字；“角度”是指修改标注文字的角度；“水平”是指创建水平尺寸标注；“垂直”是指创建垂直尺寸标注；“旋转”是指创建旋转型尺寸标注。

② 选择对象：选择要标注尺寸的对象。对多段线和其他可分解对象，仅标注独立的直线段和弧段。如果选择了直线段和弧段，直线段或弧段的端点作为尺寸界线偏移的起点。如果选择圆，用圆的直径端点作为尺寸界线的起点。用来选择圆的那个点被定义为第一条尺寸界线的起点。其他选项与前相同。

（2）对齐标注

功能：用于标注倾斜线的线性尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【对齐】

3）命令行：Dimalingned↙

说明：

用对齐标注方式时，与“线性标注”时基本相同，只是其尺寸线始终平行于被标注对象。

（3）半径标注

功能：标注圆和圆弧的半径尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【半径】

3）命令行：Dimradius↙

说明：

选择圆或圆弧后选项有：

① 尺寸线位置：指定一点，并使用该点定位尺寸线。指定了尺寸线位置之后完成标注。

② 多行文字：显示多行文字编辑器，可用它来编辑标注文字。

③ 文字：提示在命令行输入新的标注文字。

④ 角度：修改标注文字的角度。

（4）直径标注

功能：标注圆和圆弧的直径尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【直径】

3）命令行：Dimdiameter ↙

操作过程及命令行提示类似于半径标注。

（5）角度标注

功能：标注角度尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【角度】

3）命令行：Dimangular ↙

说明：

① 选择圆弧：使用选中圆弧上的点作为角度标注的定义点。圆弧的圆心是角度的顶点，圆弧端点成为尺寸界线的起点。在尺寸界线之间绘制一段圆弧作为尺寸线。尺寸界线从角度端点绘制到与尺寸线的交点。

② 选择圆：使用选中的圆确定标注的两个定义点。圆的圆心是角度的顶点，选择点用作第一条尺寸线的起点，选择第二条边的端点（不一定在圆上）作为第二条尺寸界线的起点。

③ 选择直线：用两条直线定义角度。如果选择了一条直线，那么必须选择另一条（不与第一条平行的）直线以确定它们之间的角度。

④ 指定三点：使用指定的三点创建角度标注，其中第一个指定点为角度的顶点。

（6）折弯半径标注

功能：标注圆弧的半径尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【折弯】

3）命令行：Dimjogged ↙

说明：

折弯半径标注与半径标注基本相同，但需要指定折弯标注中心点的位置和折弯位置。多用于标注较大圆弧的半径。

（7）基线标注

功能：从上一个或选定标注的基线处创建线性或角度标注。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【基线】

3）命令行：Dimbaseline ↙

说明：

① 基线标注命令绘制基于同一条尺寸界线的一系列相关标注。AutoCAD 让每个新的尺寸线偏离一段距离（基线间距），以避免与前一条尺寸线重合。

② 指定第二条尺寸界线的位置后，接下来的提示取决于当前任务中最后一次创建的尺寸标注的类型：线性或角度。

③ 默认情况下，使用基线标注的第一条尺寸界线作为基线标注的基准尺寸界线。可以通过显示的

选择基线标注来替换默认情况，这时作为基准的尺寸界线是离选择拾取点最近的尺寸界线。

（8）连续标注

功能：用于标注同一方向上的连续线性尺寸或角度尺寸。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【连续】

3）命令行：Dimcontinue ↙

说明：

① 从上一个或选定标注的第二条尺寸界线处创建线性或角度标注。连续标注也称为链式标注。

② 当创建线性连续尺寸标注时，第一条尺寸界线被省略。命令行提示的响应取决于当前任务中标注类型的需要。

（9）形位公差标注

功能：用于图上形位公差[㊀]的标注。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）菜单：【标注】→【公差】

3）命令行：Tolerance ↙

执行形位公差标注命令后，弹出【形位公差】对话框，见图 12-27。对话框中各选项的含义说明如下：

① 符号：选择形位公差符号。单击符号框，弹出如图 12-28 所示的形位公差“特征符号”框，根据需要选择符号。

② 公差 1 和公差 2：设置公差带中的直径代号“ϕ”并在栏内填写公差值。

③ 基准 1、基准 2 和基准 3：第一个空白框填写形位公差的基准代号，第二个黑色框设定附加符号。

④ 延伸公差带：用于插入延伸公差带符号。

说明：

① 该命令不能画出形位公差框格的指引线，需要画出指引线时，可以使用 Qleader 命令。

② 形位公差的“基准符号”可创建成块，再插入到图形中。

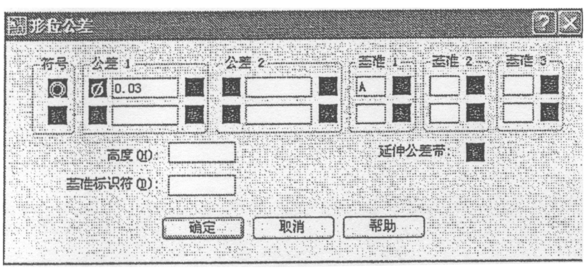


图 12-27　【形位公差】对话框

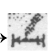


图 12-28　形位公差符号框

（10）编辑标注文字

功能：用来修改已有尺寸标注中文本的放置位置。

命令输入方法：

1）工具栏：【标注】→

2）命令行：Dimtedit ↙

㊀ 在 GB/T 1182—2008 中，术语“形位公差”已改称为“几何公差”（余同）。

Dimtedit 命令执行过程的窗口提示：

```
命令: _Dimtedit
选择标注:
指定标注文字的新位置或 [左(L)/右(R)/中心(C)/默认(H)/角度(A)]:
```

说明：

① 指定标注文字的新位置：如果是通过光标来定位标注文字并且 DIMSHO 系统变量是打开的，那么标注在拖动时会动态更新。垂直放置设置控制了标注文字是在尺寸线之上、之下还是中间。

② 左（右）：沿尺寸线左（右）移标注文字。本选项只适用于线性、直径和半径标注。

③ 中心：把标注文字放在尺寸线的中心。

④ 默认：将标注文字移回默认位置。

⑤ 角度：修改标注文字的角度。

（11） 编辑标注尺寸

功能：用来修改已有尺寸标注中的文本内容及放置的方向。

命令输入方法：

1） 工具栏：【标注】→

2） 菜单：【标注】→【对齐文字】

3） 命令行：Dimedit ↙

Dimedit 命令执行过程的窗口提示：

```
命令: _Dimedit
输入标注编辑类型 [默认(H)/新建(N)/旋转(R)/倾斜(O)] <默认>:
指定标注文字的角度:
```

说明：

① 默认：将标注文字移动到标注样式指定的默认位置。

② 新建：可在“文字格式”工具栏的文本框中更改标注文字。

③ 旋转：旋转标注的文字。

④ 倾斜：调整线性尺寸标注中尺寸界线的角度。

二、块操作

1. 块的概念

块又称图块，它是由一系列图元组合而成的独立实体，该实体在图形中的功能与单一图元相同，可以进行缩放、旋转、移动、删除等操作，指定块的任何部分都可选中块。

块可以起一个名字保存于图中。块做成后，可以根据需要随时以任意比例和方向插入图形中的指定位置。块还可单独存盘以供其他图形调用。利用块的这一性质，可以制成常用构件库和标准件库。

组成块的图元可以分别处在不同图层上，可有不同的颜色和线型。在插入图形后，块的每个图元在原来的图层上画出，并用原图的颜色和线型。以下几种情况属于例外：

① 在实体的 0 层形成的块将插入到图形的当前层，而不是 0 层。

② 以 BYLAYER 或 BYBLOCK 定义的块，其颜色和线型将按当前层或实体的颜色和线型。

③ 块可以嵌套，即一个块中可以包含对其他图块的引用。

2. 块的创建

功能：根据选定的对象来定义块。

命令输入方法：

1） 工具栏：【绘图】→

2） 菜单：【绘图】→【块】→【创建】

3）命令行：Block ↙

说明：

命令执行后，弹出如图 12-29 所示的【块定义】对话框。其中各选项的功能如下：

① 名称：用户输入块的名称，块名称以及块的定义保存在当前图形中。

② 基点：指定块的基点。默认值是（0，0，0）。单击【拾取点】按钮，选择插入基点。

③ 对象：用于指定新块中要包含的对象，以及创建块以后是保留或删除选定的对象，还是将它们转换成块的引用。

④ 方式：选中“按统一比例缩放”复选框，则强制在三个坐标方向上采用同一比例插入块；单击“允许分解”复选框，可设置插入的块是否允许被分解。

⑤ 设置：指定插入块时，把块从设计中心拖到图形中时，对块进行缩放所使用的单位。

⑥ 说明：指定与块定义相关联的文字说明。

当用户使用 Block 命令定义一个块时，该块只能在存储该块定义的图形文件中使用。为了能在别的图形文件中再次引用该块，需用 WBLOCK 命令将图形中现有的块保存为独立的“＊. DWG”文件。

利用 WBLOCK 命令，用户可将块、对象选择集，或一个完整的文件定义为一个块。该块作为一个独立的图形文件存盘。

命令输入方法：

命令行：WBLOCK ↙

说明：

命令执行后，弹出如图 12-30 所示的【写块】对话框。其中各选项的功能如下：

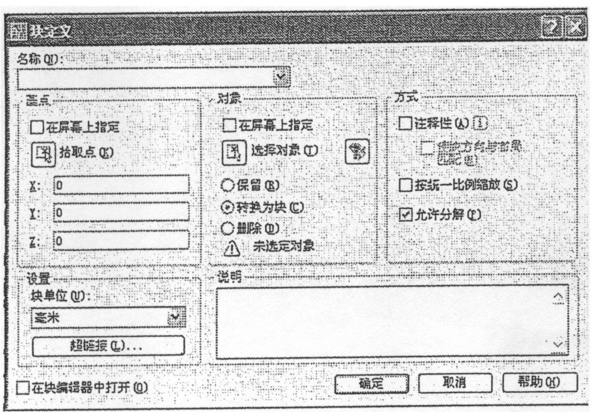


图 12-29 【块定义】对话框



图 12-30 【写块】对话框

① 源：该选项组用于指定定义块的对象类别。被指定对象可以是已存在的块、整个图形或用户选择的对象组。

② 基点：定义块的基点，默认值是（0，0，0）。单击【拾取点】按钮，选择插入基点。

③ 对象：具体指定新块中要包含的对象作为块进行存储，其选项含义与“块定义”相同。

④ 目标：该选项组用于设置保存块的名称、路径及插入单位。

3. 块的插入

创建图块后，绘图中就可根据需要将图块插入到图形中。

功能：将当前图形中已定义的或磁盘上已有的图块插入到当前图形中。

命令输入方法：

1）工具栏：【绘图】→

2）菜单：【插入】→【块】

3）命令行：Insert↙

命令执行后，弹出如图12-31所示的【插入】对话框。在当前编辑任务期间最后插入的块成为随后的Insert命令使用的默认块。其中各选项的功能如下：

① 名称：指定要插入的块名，或指定要作为块插入的文件名。

② 插入点：指定块的插入点。

③ 比例：指定插入块的缩放比例。如果指定负的X、Y和Z比例因子，则插入块的镜像图像。

④ 旋转：指定插入块的旋转角度。

⑤ 分解：分解块并插入该块的各个部分。

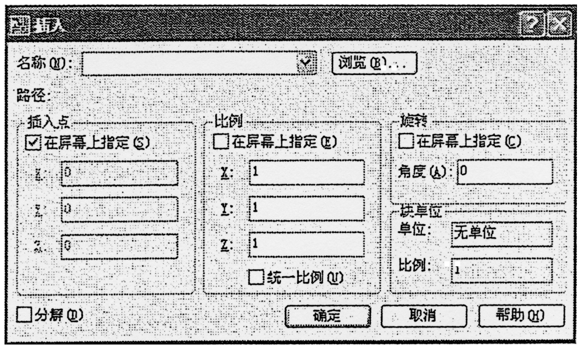


图12-31 块的【插入】对话框

第五节 AutoCAD绘图举例

前面介绍了AutoCAD绘制二维图形的主要功能，本节通过两个实例来介绍绘图的一般过程。

一、平面图形画法

下面以图12-32中的蝶形板为例，介绍平面图形的画图步骤。采用1∶1的比例进行作图，其步骤如下：

1. 设置作图环境

（1）绘新图并设置图形界限

命令：【文件】→【新建】

命令：【格式】→【图形界限】

设置图幅为：A4。

（2）设置图层 单击【图层】工具栏按钮，在【图层特性管理器】对话框中设置如下图层：

1）0层（画细实线）：颜色为白色，线型为Continuous，线宽为默认。

2）粗实线层（画粗实线）：颜色为红色，线型为Continuous，线宽为0.5mm。

3）虚线层（画虚线）：颜色为黄色，线型为Dashed，线宽为默认。

4）点画线层（画点画线）：颜色为绿色，线型为Center，线宽为默认。

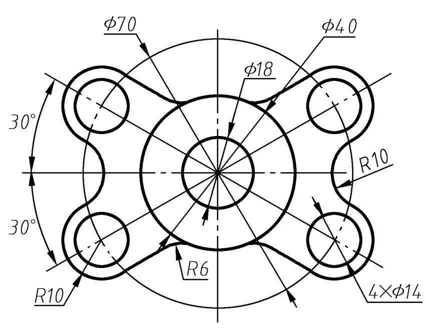


图12-32 蝶形板

5）尺寸层（标注尺寸）：颜色为红色，线型为Continuous，线宽为默认。

（3）设置文字样式 单击【样式】工具栏按钮，在【文字样式】对话框中设置文字样式。选择Times New Roman字体，宽度比例设为0.7。

（4）设置尺寸标注样式 单击【样式】工具栏按钮，在【标注样式管理器】对话框中设置尺寸标注样式。

在【线】选项卡中，“超出尺寸线”复选框中输入：2；“起点偏移量”复选框选：0。

在【符号和箭头】选项卡中，“箭头大小”复选框中输入：2.5；其他复选框选：默认值。

在【文字】选项卡中，“文字高度”复选框中输入：3.5；“文字对齐”复选框中选择：ISO 标准；其他复选框选：默认值。

其他选项卡中，都采用系统的默认值。

2. 画绘图基准线

1）设置“点画线层”为当前层。

2）画中心线。

① 单击【绘图】工具栏的【直线】按钮，画水平中心线（重合的两条）和垂直中心线；单击【圆】按钮，画 ϕ70 定位圆。

② 单击【修改】工具栏的【旋转】按钮，将一条水平中心线旋转 30°后作镜像，见图 12-33a。

3. 绘制平面图形

1）设置粗实线层为当前层。

2）单击【绘图】工具栏的【圆】按钮，分别画出直径为 ϕ40、ϕ18、ϕ20、ϕ14 的圆，见图12-33b。

3）单击【修改】工具栏的【偏移】按钮，偏移 30°中心线，偏移量为 10，使之与 ϕ40 圆相交，与 ϕ20（R10）圆相切，并将线型改为粗实线。

4）单击【修改】工具栏的【修剪】按钮，将 30°斜线修剪为如图 12-33c 所示。

5）单击【绘图】工具栏的【圆】按钮，画与 ϕ40 圆、30°斜线相切且半径为 R6 的圆，画圆方式选：相切、相切、半径。

6）单击【修改】工具栏的【修剪】按钮，修剪半径为 R6 圆的下部多余部分。

7）单击【修改】工具栏的【镜像】按钮，选择左边 ϕ14 圆、ϕ20 圆、30°斜线、R6 圆弧为镜像对象；选择水平中心线为镜像线，完成镜像操作。

8）单击【绘图】工具栏的【圆】按钮，画与两个 ϕ20 圆相切且半径为 R10 的圆，画圆方式选：相切、相切、半径，见图 12-33d。

9）单击【修改】工具栏的【修剪】按钮，选择两条斜直线以及左边三个半径为 R10 的圆互为剪切边，完成修剪操作，见图 12-33e。

10）单击【修改】工具栏的【镜像】按钮，选择垂直中心线左边的全部图元为镜像对象，选择垂直中心线为镜像线，完成镜像操作。

11）单击【修改】工具栏的【打断】按钮，打断过长的中心线，整理图形使其符合制图规范。

通过以上操作，完成了“蝴蝶板”的图形绘制，见图 12-33f。

4. 标注尺寸

在【标注样式管理器】对话框中创建“角度”标注样式，用来标注角度尺寸。在其【文字】选项卡的“文字位置”选项的“垂直”下拉列表中，选择“外部”选项；在“文字对齐”选项中，点取“水平”选项，其他选项取默认值。其他类型尺寸的标注采用系统默认的标注样式，在“文字对齐”选项中，点取“ISO 标准”选项，其他选项取默认值。

1）单击【标注】工具栏的【直径】按钮，标注直径尺寸 ϕ70、ϕ40、ϕ18、4 × ϕ14 等。

2）单击【标注】工具栏的【半径】按钮，标注半径尺寸 R10、R10、R6。

3）在【标注样式】的下拉列表中，选择“角度”标注样式，单击【标注】工具栏的【角度】按

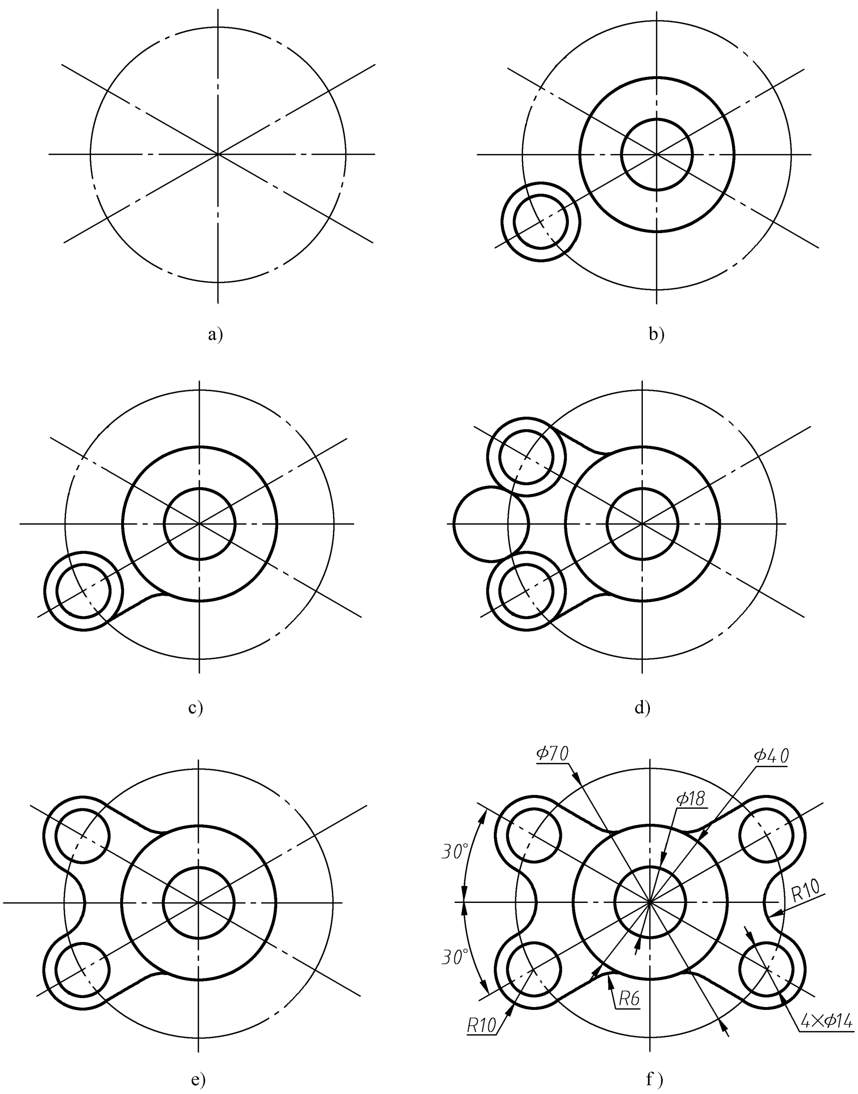


图 12-33　蝶形板作图步骤

钮，标注两个角度尺寸 30°。

完成全图，见图 12-33f。

5. 存盘

以指定名称“蝶形板 . dwg”保存图形。

菜单：【文件】→【另存为】→存储路径。

二、机械图样画法

下面以图 12-34 中端盖为例⊖，以命令输入方式介绍机械零件的画图步骤。采用 1∶1 的比例进行作图，其步骤如下：

1. 设置作图环境

（1）绘新图并设置图形界限

⊖ 图中标记：点 P_1、P_2、P_3…，直线 L_1、L_2、…、L_5，圆 C_1、C_2 等为笔者所加，并非图形内容。

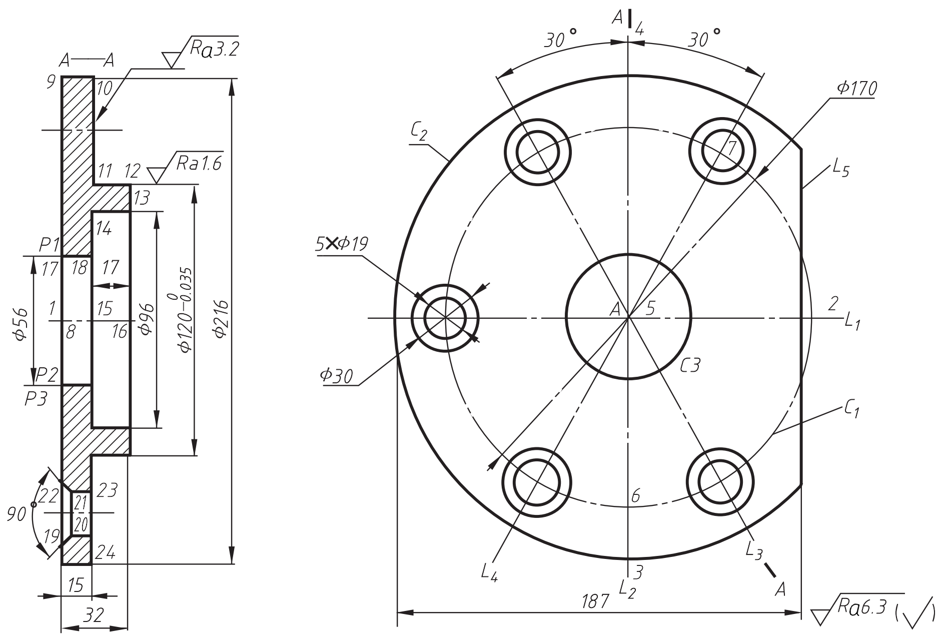


图 12-34　端盖

命令：【文件】→【新建】

命令：【格式】→【图形界限】

设置图幅为：A3。

（2）设置图层

命令：Layer↙

共设置如下图层：

1）0 层（画细实线）：颜色为白色，线型为 Continuous，线宽为默认。

2）粗实线层（画粗实线）：颜色为红色，线型为 Continuous，线宽为 0.5mm。

3）虚线层（画虚线）：颜色为黄色，线型为 Dashed，线宽为默认。

4）点画线层（画点画线）：颜色为绿色，线型为 Center，线宽为默认。

5）尺寸层（标注尺寸）：颜色为红色，线型为 Continuous，线宽为默认。

6）文字层（注写文字）：颜色为白色，线型为 Continuous，线宽为默认。

（3）设置文字样式

命令：【格式】→【文字样式】。选择 Times New Roman 字体，宽度比例设为 0.7。

（4）设置尺寸标注样式　尺寸标注样式可以通过命令【格式】→【标注样式】来设置。字体高度为 3.5mm。新建“角度”与“公差”两种标注样式，方法同前例。

2. 画绘图基准线

① 设置点画线层为当前层。

② 画中心线。

命令：Line↙（画直线 L_1）

指定第一点：25，155↙　（点 1）

指定下一点或［放弃（U）］：@ 380，0↙　（点 2）

指定下一点或［放弃（U）］：↙

命令：Line↙（画直线 L_2）

指定第一点：300，35↙　（点 3）

指定下一点或［放弃（U）］：@240 < 90↙　（点 4）

指定下一点或［放弃（U）］：↙

命令：Circle↙（画圆 C_1）

指定圆的圆心或［三点（3P）/两点（2P）/相切、相切、半径（T）］：300，155↙　（点5）

指定圆的半径或［直径（D）］：85↙

命令：Copy↙（复制 L_2）

选择对象：（选择 L_2）↙

选择对象：↙

当前设置：复制模式 = 多个

指定基点或［位移（D）/模式（O）］ <位移>：指定第二点或 <使用第一点作位移>：300，155↙

指定第二点或［退出（E）/放弃（U）］ <退出>：300，155↙

指定第二点或［退出（E）/放弃（U）］ <退出>：↙

命令：Rotate↙（选择 L_2 得到 L_3）

UCS 当前的正角方向：ANGDIR = 逆时针　ANGBASE = 0

选择对象：（选择 L_2）

选择对象：↙

指定基点：300，155↙　（点5）

指定旋转角度或［复制（C）/参照（R）］ <0>：30↙

命令：Mirror↙（镜像 L_3 得 L_4）

选样对象：（选择 L_3）

选择对象：↙

指定镜像线的第一点：300，155↙　（点5）

指定镜像线的第二点：300，70↙　（点6）

是否删除源对象？［是（Y）/否（N）］ <N>：↙

3. 画左视图

① 设置粗实线层为当前层。

② 画大圆 C_2 和小圆 C_3。

命令：Circle↙

指定圆的圆心或［三点（3P）/两点（2P）/相切、相切、半径（T）］：300，155↙　（点5）

指定圆的半径或［直径（D）］：108↙

命令：Circle↙

指定圆的圆心或［三点（3P）/两点（2P）/相切、相切、半径（T）］：300，155↙　（点5）

指定圆的半径或［直径（D）］：28↙

③ 在 L_4 与 C_1 右上交点处画沉孔圆。

命令：Circle↙

指定圆的圆心或［三点（3P）/两点（2P）/相切、相切、半径（T）］：↙（选取 L_4 与 C_1 交点7）

指定圆的半径或［直径（D）］：9.5↙

命令：Circle↙

指定圆的圆心或［三点（3P）/两点（2P）/相切、相切、半径（T）］：↙（选取 L_4 与 C_1 交点7）

指定圆的半径或［直径（D）］：15↙

④ 阵列画一组沉孔圆。

命令：Array↙

弹出【阵列】对话框，见图12-16b。并在对话框中作如下操作与设置：

选择对象：(选择沉孔两圆) ↙
选择对象：↙
输入阵列类型［矩形（R)/环形（P)］ <R>：P ↙
指定阵列中心点：300，155 ↙ （点 5）
输入阵列中项目的数目：5 ↙
指定填充角度（ + =逆时针， - =顺时针） <360>：240 ↙
是否旋转阵列中的对象?［是（Y)/否（N)］ <Y>：↙
⑤ 作等距直线 L_5，并修剪多余线条。
命令：Offset ↙
指定偏移距离或［通过（T)］ <通过>：79 ↙
选择要偏移的对象或<退出>：(选择 L_2)
指定点以确定偏移所在一侧：(在 L_2 右侧取点)
选择要偏移的对象或<退出>：↙
命令：Trim ↙
当前设置：投影 = UCS 边 = 无
选择剪切边…
选择对象：(选择 L_5 和 C_2)
选择对象：↙
选择要修剪的对象或［投影（P)/边（E)/放弃（U)］：(选择要修剪部分)
选择要修剪的对象或［投影（P)/边（E)/放弃（U)］：↙
⑥ 改变直线 L_5 图层属性，使之变为粗实线。

4. 画主视图

① 作对称外形的上半部分。
命令：Line ↙
指定第一点：35，155 ↙ （点 8）
指定下一点或［放弃（U)］：@0，108 ↙ （点 9）
指定下一点或［放弃（U)］：@15，0 ↙ （点 10）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：@0， -48 ↙ （点 11）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：@17，0 ↙ （点 12）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：@0， -12 ↙ （点 13）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：@ -17，0 ↙ （点 14）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：@0， -48 ↙ （点 15）
指定下一点或［闭合（C)/放弃（U)］：↙
命令：Line ↙
指定第一点：67，203 ↙ （点 13）
指定下一点或［放弃（U)］：67，155 ↙ （点 16）
指定下一点或［放弃（U)］：↙
命令：Line ↙
指定第一点：35，183 ↙ （点 17）
指定下一点或［放弃（U)］：50，183 ↙ （点 18）
指定下一点或［放弃（U)］：↙
② 镜像产生下半部分。
命令：Mirror ↙

选择对象：（选择上半部分）

选择对象：↙

指定镜像线的第一点：25，155 ↙　　（点 1）

指定镜像线的第二点：67，155 ↙　　（点 16）

是否删除源对象？［是（Y）/否（N）］<N>：↙

③ 作沉孔（先作中心线，后画沉孔）。

命令：Offset ↙

指定偏移距离或［通过（T）/删除（E）/图层（L）］<通过>：85

选择要偏移的对象，或［退出（E）/放弃（U）］<退出>：（选择 L_1）

指定点以确定偏移所在一侧上的点，或［退出（E）/多个（M）/放弃（U）］<退出>：（选择 L_1 下方一点）

选择要偏移的对象，或［退出（E）/放弃（U）］<退出>：（选择 L_1）

指定点以确定偏移所在一侧上的点，或［退出（E）/多个（M）/放弃（U）］<退出>：（选择 L_1 上方一点）

选择要偏移的对象，或［退出（E）/放弃（U）］<退出>：↙

命令：Break ↙

选择对象：（选择 L_1 及刚作好的两条线）

指定第二个打断点或［第一点（F）］：（在合适位置指定第二个打断点，保证中心线伸出图形的长度）

命令：Line ↙

指定第一点：35，55 ↙　　（点 19）

指定下一点或［放弃（U）］：@5.5，5.5 ↙　　（点 20）

指定下一点或［放弃（U）］：@0，19 ↙　　（点 21）

指定下一点或［闭合（C）/放弃（U）］：@ −5.5，5.5 ↙　　（点 22）

指定下一点或［闭合（C）/放弃（U）］：↙

命令：Line

指定第一点：40.5，79.5 ↙　　（点 21）

指定下一点或［放弃（U）］：@9.5，0 ↙　　（点 23）

指定下一点或［放弃（U）］：↙

命令：Line ↙

指定第一点：40.5，60.5 ↙　　（点 20）

指定下一点或［放弃（U）］：@9.5，0 ↙　　（点 24）

指定下一点或［放弃（U）］：↙

④ 设置 0 层（细实线）为当前层。

⑤ 作剖面线。

菜单：【绘图】→【图案填充】，在如图 12-9 所示的对话框中，选择【图案填充】选项卡。选取“ANSI31”图案为填充图案，用“拾取点”方式选定填充边界（参见图 12-34 的主视图），在【角度和比例】选项组中填写“0”和“1”。画出剖面线。

5. 标注尺寸

① 设置尺寸层为当前层。

② 标注线性尺寸。

命令：Dimlinear ↙

指定第一条尺寸界线原点或<选择对象>：（选择主视图中的点 P_1）

指定第二条尺寸界线原点：（选择主视图中的点 P_2）
［多行文字（M）/文字（T）/角度（A）/水平（H）/垂直（V）/旋转（R）］：T↙
输入标注文字 <56>：%%c56↙
指定尺寸线位置或
［多行文字（M）/文字（T）/角度（A）/水平（H）/垂直（V）/旋转（R）］：（选择主视图中点 P_3）
完成尺寸 ϕ56 的标注。
同理，依次标注各线性尺寸。其中标注尺寸 ϕ120 时，切换到“公差”标注样式。
③ 标注圆的直径。
命令：Dimdiameter↙
选择圆弧或圆：（选择 C_1）
标注文字 =170
指定尺寸线位置或［多行文字（M）/文字（T）/角度（A）］：（选择尺寸线位置）
同理，标注沉孔圆直径尺寸。
④ 标注角度。
切换到“角度”标注样式。
命令：Dimangular↙
选择圆弧、圆、直线或 <指定顶点>：（选择 L_2）
选择第二条直线：（选择 L_3）
指定标注弧线位置或［多行文字（M）/文字（T）/角度（A）/象限点（Q）］：（选择合适位置）
标注文字 =30
同理，标注 90°沉孔、L_2 与 L_4 之间 30°的角度标注。

6. 作剖视标注

① 设置粗实线层为当前层。
② 画剖切面符号。
命令：Line↙
沿 L_2 和 L_3 画直线。
命令：Break↙
在合适位置打断直线。
③设置文字层为当前层。
命令：Text↙
当前文字样式：Standard　文字高度：5
指定文字的起点或［对正（J）/样式（S）］：（指定一点）
指定高度 <2.5>：5↙
指定文字的旋转角度 <0>：↙
输入文字：A（指定另一点）
输入文字：A（指定另一点）
输入文字：A（指定另一点）
输入文字：A—A↙
输入文字：↙
完成剖视标注。

7. 注写表面结构代号

① 按制图标准画出表面结构符号的图形。

② 由下拉菜单【绘图】→【块】→【创建块】，将表面结构符号图形定义为块。

③ 用【插入块】命令将表面结构符号图形插入图中，并填写相应的 *Ra* 值。

8. 存盘

以指定名称“端盖.dwg”保存图形。

菜单：【文件】→【另存为】→存储路径。

附　　录

附录1　标准尺寸（摘自 GB/T 2822—2005）　　　　（单位：mm）

R10	R20	R40	**R′**	R10	R20	R40	**R′**	R10	R20	R40	**R′**	R10	R20	R40	**R′**
10	10				35.5	35.5	**36**		112	112	**110**		355	355	**360**
	11.2		**11**			37.5	**38**			118	**120**			375	**380**
12.5	12.5	12.5	**12**	40	40	40		125	125	125		400	400	400	
		13.2	**13**			42.5	**42**			132	**130**			425	**420**
	14	14			45	45			140	140			450	450	
		15				47.5	**48**			150				475	**480**
16	16	16		50	50	50		160	160	160		500	500	500	
		17				53				170				530	
	18	18			56	56			180	180			560	560	
		19				60				190				600	
20	20	20		63	63	63		200	200	200		630	630	630	
		21.2	**21**			67				212	**210**			670	
	22.4	22.4	**22**		71	71			224	224	**220**		710	710	
		23.6	**24**			75				236	**240**			750	
25	25	25		80	80	80		250	250	250		800	800	800	
		26.5	**26**			85				265	**260**			850	
	28	28			90	90			280	280			900	900	
		30				95				300				950	
31.5	31.5	31.5	**32**	100	100	100		315	315	315	**320**	1000	1000	1000	
		33.5	**34**			106	**105**			335	**340**				

注：1. 本标准规定了 0.01～20000mm（本表仅摘录 10～1000mm）范围内机械制造业中常用的标准尺寸系列。

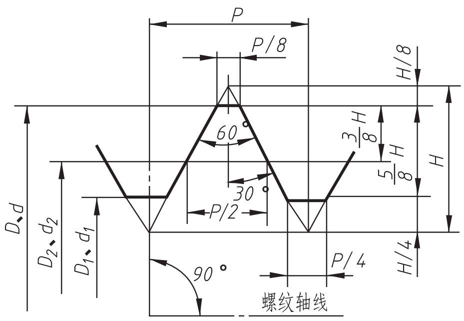
2. 本标准适用于有互换性或系列化要求的主要尺寸，其他结构尺寸也应尽可能采用。

3. 应优先在 R 系列中，并按 R10、R20、R40 的顺序选用标准尺寸。也可在相应的化整值 **R′**系列中选用标准尺寸。

附录2　常用化学元素符号（摘自 GB 3102.8—1993）

元素符号	Cr	Ni	Si	Mn	Al	P	W	Mo	V	Ti	Cu	Fe	B	Co	N
元素名称	铬	镍	硅	锰	铝	磷	钨	钼	钒	钛	铜	铁	硼	钴	氮
元素符号	Nb	Ta	Ca	C	RE	S	Be	Bi	Cd	Mg	Pb	Sb	Sn	Zn	In
元素名称	铌	钽	钙	碳	稀土	硫	铍	铋	镉	镁	铅	锑	锡	锌	铟

附录 3　普通螺纹（摘自 GB/T 192、193、196、197—2003）　　　　（单位：mm）



基本牙型（GB/T 192—2003）

1. D—内螺纹大径；d—外螺纹大径；D_2—内螺纹中径；d_2—外螺纹中径；D_1—内螺纹小径；d_1—外螺纹小径；P—螺距；H—原始三角形高度

2. $H=\frac{\sqrt{3}}{2}P=0.866P$；

$$D_2(d_2)=D(d)-2\times\frac{3}{8}H=D(d)-0.6495P$$

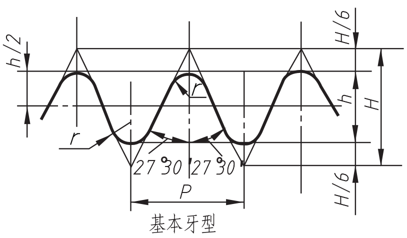
$$D_1(d_1)=D(d)-2\times\frac{5}{8}H=D(d)-1.0825P$$

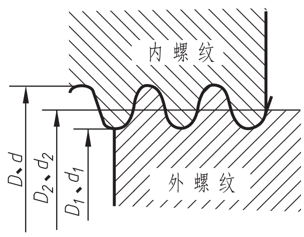
3. 螺纹标记：
M24：公称直径为 24mm 的粗牙普通螺纹；
M24 × 1.5：公称直径为 24mm，螺距为 1.5mm 的细牙普通螺纹；
M24 × 1.5LH：公称直径为 24mm，螺距为 1.5mm，旋向为左旋的细牙普通螺纹。

公称直径 D、d 第一系列	公称直径 D、d 第二系列	螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D、d 第一系列	公称直径 D、d 第二系列	螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D、d 第一系列	公称直径 D、d 第二系列	螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
6		1 0.75	5.350 5.513	4.917 5.188		18	2.5 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917		33	3.5 2 1.5	30.727 31.701 32.026	29.211 30.835 31.376
8		1.25 1 0.75	7.188 7.350 7.513	6.647 6.917 7.188	20		2.5 2 1.5 1	18.376 18.701 19.026 19.350	17.294 17.835 18.376 18.917	36		4 3 2 1.5	33.402 34.051 34.701 35.026	31.670 32.752 33.835 34.376
10		1.5 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188		22	2.5 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917		39	4 3 2 1.5	36.402 37.051 37.701 38.026	34.670 35.752 36.835 37.376
12		1.75 1.5 1.25 1	10.863 11.026 11.188 11.350	10.106 10.376 10.647 10.917	24		3 2 1.5 1	22.051 22.701 23.026 23.350	20.752 21.835 22.376 22.917	42		4.5 3 2 1.5	39.077 40.051 40.701 41.026	37.129 38.752 39.835 40.376
	14	2 1.5 1	12.701 13.026 13.350	11.835 12.376 12.917		27	3 2 1.5 1	25.051 25.701 26.026 26.350	23.752 24.835 25.376 25.917		45	4.5 3 2 1.5	42.077 43.051 43.701 44.026	40.129 41.752 42.835 43.376
16		2 1.5 1	14.701 15.026 15.350	13.835 14.376 14.917	30		3.5 2 1.5 1	27.727 28.701 29.026 29.350	26.211 27.835 28.376 28.917	48		5 3 2 1.5	44.752 46.051 46.701 47.026	42.587 44.752 45.835 46.376

注：1. 本标准规定螺纹公称直径为 1 ~ 300mm，本表仅摘录 6 ~ 48mm 部分。
2. 公称直径优先选用第一系列，其次第二系列，本表未列入第三系列和标准建议尽可能不用的螺距。
3. 在每个直径所对应的诸螺距中，第一个数字为粗牙螺纹螺距，其余为细牙螺纹螺距。

附录 4　55°非密封管螺纹（摘自 GB/T 7307—2001）　　（单位：mm）





标 记 示 例

1. 内螺纹：G1½；
2. A 级外螺纹：G1½A；
3. B 级外螺纹：G1½B；
4. 左旋内螺纹：G1½—LH；
5. 左旋 A 级外螺纹：G1½A—LH

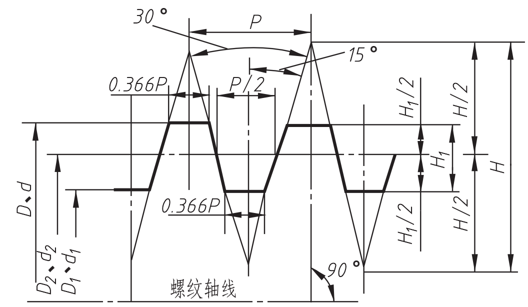
螺纹的公称尺寸

尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数 n	螺距 P	牙高 h	基本直径		
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631
5/8	14	1.814	1.162	22.911	21.749	20.587
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117
7/8	14	1.814	1.162	30.201	29.039	27.877
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291
1⅛	11	2.309	1.479	37.897	36.418	34.939
1¼	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952
1½	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845
1¾	11	2.309	1.479	53.746	52.267	50.788
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656
2¼	11	2.309	1.479	65.710	64.231	62.752
2½	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226
2¾	11	2.309	1.479	81.534	80.055	78.576
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926
3½	11	2.309	1.479	100.330	98.851	97.372
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072
4½	11	2.309	1.479	125.730	124.251	122.772
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472
5½	11	2.309	1.479	151.130	149.651	148.172
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872

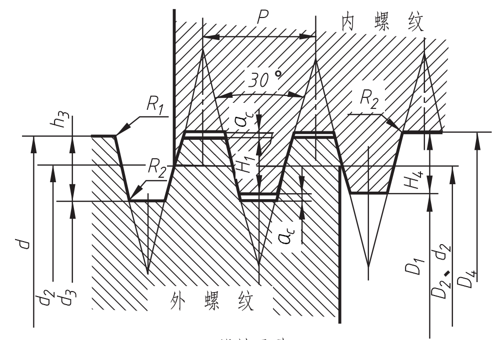
注：1. 本标准规定了牙型角为 55°、螺纹副本身不具有密封性的圆柱管螺纹的牙型、尺寸、公差和标记。适用于管子、阀门、管接头、旋塞及其他管路附件的螺纹连接。

2. 若要求此连接具有密封性，应在螺纹以外设计密封面结构（例如圆锥面、平端面等）。在密封面内加合适的密封介质，利用螺纹将密封面锁紧密封。

附录 5 梯形螺纹（摘自 GB/T 5796.1 ~ 5796.4—2005） （单位：mm）



基本牙型



设计牙型

D、d—内、外螺纹大径

D_2、d_2—内、外螺纹中径

D_1、d_1—内、外螺纹小径

P—螺距

H—原始三角形高度

H_1—基本牙型牙高

螺纹代号示例：

例 1：公称直径为 40mm、螺距为 7mm 的单线梯形螺纹：Tr40 × 7。

例 2：公称直径为 40mm、导程为 14mm、螺距为 7mm，左旋的双线梯形螺纹：Tr40 × 14（P7）LH。

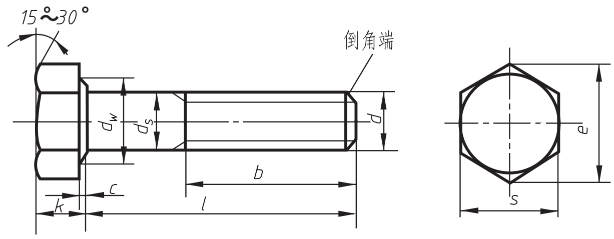
公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径		公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1	第一系列	第二系列				d_3	D_1
8		1.5	7.25	8.3	6.2	6.5	28		5	25.5	28.5	22.5	23
	9	2	8	9.5	6.5	7		30	6	27	31	23	24
10		2	9	10.5	7.5	8	32		6	29	33	25	26
	11	2	10	11.5	8.5	9		34	6	31	35	27	28
12		3	10.5	12.5	8.5	9	36		6	33	37	29	30
	14	3	12.5	14.5	10.5	11		38	7	34.5	39	30	31
16		4	14	16.5	11.5	12	40		7	36.5	41	32	33
	18	4	16	18.5	13.5	14		42	7	38.5	43	34	35
20		4	18	20.5	15.5	16	44		7	40.5	45	36	37
	22	5	19.5	22.5	16.5	17		46	8	42	47	37	38
24		5	21.5	24.5	18.5	19	48		8	44	49	39	40
	26	5	23.5	26.5	20.5	21		50	8	46	51	41	42

注：1. 本标准规定了一般用途梯形螺纹基本牙型，公称直径为 8 ~ 300mm（本表仅摘录 8 ~ 50mm）的直径与螺距系列以及公称尺寸。

2. 应优先选用第一系列的直径。

3. 在每个直径所对应的诸螺距中，本表仅摘录应优先选用的螺距和相应的公称尺寸。

附录 6　六角头螺栓（GB/T 5782—2000）　（单位：mm）



标 记 示 例

螺纹规格 d = M12，公称长度 l = 80 mm，性能等级为 8.8 级，表面氧化、产品等级为 A 级的六角头螺栓的标记：

螺栓 GB/T 5782 M12 × 80

螺纹规格 d		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48
螺距 P		0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$b_{参考}$	$l_{公称}$ ≤ 125	16	18	22	26	30	38	46	54	66	—	—	—
	125 < $l_{公称}$ ≤ 200	22	24	28	32	36	44	52	60	72	84	96	108
	$l_{公称}$ > 200	35	37	41	45	49	57	65	73	85	97	109	121
c	max	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0
	min	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
d_s	公称 = max	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
d_{wmin}	A	6.88	8.88	11.63	14.63	16.63	22.49	28.19	33.61	—	—	—	—
	B	6.74	8.74	11.47	14.47	16.47	22	27.7	33.25	42.75	51.11	59.95	69.45
e_{min}	A	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	33.53	39.98	—	—	—	—
	B	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3	82.6
k	公称	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30
s	公称 = max	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75
l	范围	25 ~ 50	30 ~ 60	40 ~ 80	45 ~ 100	50 ~ 120	65 ~ 160	80 ~ 200	90 ~ 240	110 ~ 300	140 ~ 360	160 ~ 440	180 ~ 480
l	系列	20 ~ 70（5 进位）、70 ~ 160（10 进位）、160 ~ 500（20 进位）											

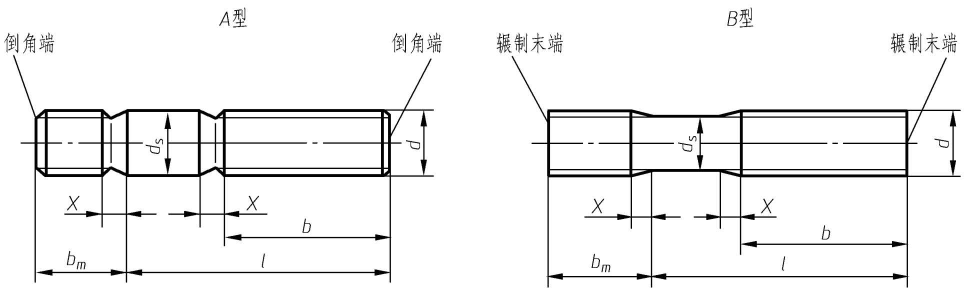
注：1. 本标准规定螺纹规格为 M1.6 ~ M64。本附录仅摘录优选系列中的 M5 ~ M48 部分。

2. 当螺栓长度小于 l 范围的上限值时，建议采用全螺纹螺栓 GB/T 5783—2000；当需要细牙螺纹的螺栓时，可采用 GB/T 5785—2000 和 GB/T 5786—2000。

3. 产品等级：A 级用于 d ≤ 24mm 和 l ≤ 10d 或 l ≤ 150mm（按较小值）；B 级用于 d > 24mm，或 l > 10d 或 l > 150mm（按较小值）。

附录 7　双头螺柱

（单位：mm）



$b_m = 1d$（GB/T 897—1988），$b_m = 1.25d$（GB/T 898—1988）

$b_m = 1.5d$（GB/T 899—1988），$b_m = 2d$（GB/T 900—1988）

标 记 示 例

1. 两端均为粗牙普通螺纹，$d = 10$mm，$l = 50$mm，性能等级为4.8级，不经表面处理，B 型，$b_m = 1d$ 的螺柱：螺柱　GB 897 M10 × 50。

2. 旋入机体一端为粗牙普通螺纹，旋螺母一端为螺距 $P = 1$mm 的细牙普通螺纹，$d = 10$mm，$l = 50$mm，性能等级为4.8级，不经表面处理，A 型，$b_m = 2d$ 的螺柱：螺柱　GB 900　AM10—M10 × 1 × 50。

螺纹规格 d		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48
b_m	GB/T 897	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
	GB/T 898	6	8	10	12	15	20	25	30	38	45	52	60
	GB/T 899	8	10	12	15	18	24	30	36	45	54	63	72
	GB/T 900	10	12	16	20	24	32	40	48	60	72	84	96
d_{smax}		5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
X_{max}		1.5P											
$\frac{l}{b}$		$\frac{16\sim22}{10}$	$\frac{20\sim22}{10}$	$\frac{20\sim22}{12}$	$\frac{25\sim28}{14}$	$\frac{25\sim30}{16}$	$\frac{30\sim38}{20}$	$\frac{35\sim40}{25}$	$\frac{45\sim50}{30}$	$\frac{60\sim65}{40}$	$\frac{65\sim75}{45}$	$\frac{70\sim80}{50}$	$\frac{80\sim90}{60}$
		$\frac{25\sim50}{16}$	$\frac{25\sim30}{14}$	$\frac{25\sim30}{16}$	$\frac{30\sim38}{16}$	$\frac{32\sim40}{20}$	$\frac{40\sim55}{30}$	$\frac{45\sim65}{35}$	$\frac{55\sim75}{45}$	$\frac{70\sim90}{50}$	$\frac{80\sim110}{60}$	$\frac{85\sim110}{70}$	$\frac{95\sim110}{80}$
			$\frac{32\sim75}{18}$	$\frac{32\sim90}{22}$	$\frac{40\sim120}{26}$	$\frac{45\sim120}{30}$	$\frac{60\sim120}{38}$	$\frac{70\sim120}{46}$	$\frac{80\sim120}{54}$	$\frac{95\sim120}{66}$	$\frac{120}{78}$	$\frac{120}{90}$	$\frac{120}{102}$
					$\frac{130}{32}$	$\frac{130\sim180}{36}$	$\frac{130\sim200}{44}$	$\frac{130\sim200}{52}$	$\frac{130\sim200}{60}$	$\frac{130\sim200}{72}$	$\frac{130\sim200}{84}$	$\frac{130\sim200}{96}$	$\frac{130\sim200}{108}$
										$\frac{210\sim250}{85}$	$\frac{210\sim300}{97}$	$\frac{210\sim300}{109}$	$\frac{210\sim300}{121}$
l 系列		16，(18)，20，(22)，25，(28)，30，(32)，35，(38)，40，45，50，(55)，60，(65)，70，(75)，80，(85)，90，(95)，100 ~ 260(10 进位)，260 ~ 300(20 进位)											

注：1. l 系列中，尽可能不采用括号内的规格。

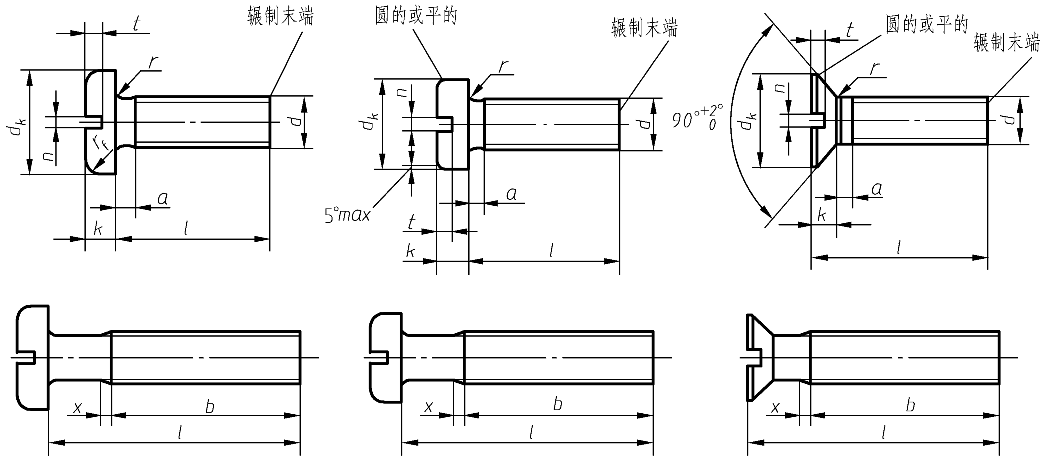
2. P—粗牙螺距。

3. 当 $b - b_m \leqslant 5$mm 时，旋螺母一端应制成倒圆端。

4. 允许采用细牙螺纹和过渡配合螺纹。

附录 8　开槽螺钉　　　　（单位：mm）

开槽圆柱头螺钉（GB/T 65—2000）　　开槽盘头螺钉（GB/T 67—2008）　　开槽沉头螺钉（GB/T 68—2000）



标记示例：螺纹规格 d = M5，公称长度 l = 20mm，性能等级 4.8 级，不经表面处理的 A 级开槽圆柱头螺钉：螺钉 GB/T 65　M5×20。

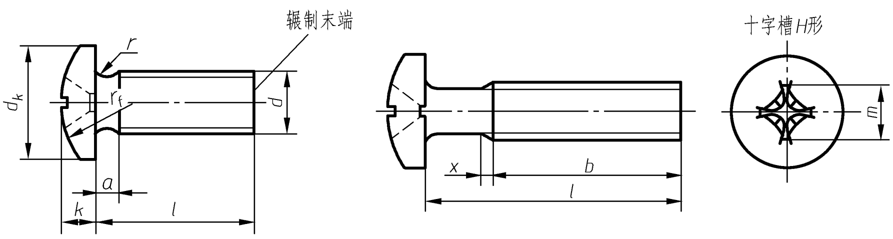
螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
螺距 P		0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5
GB/T 65—2000	d_{kmax}	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
	k_{max}	1.1	1.4	1.8	2	2.6	3.3	3.9	5	6
	t_{min}	0.45	0.6	0.7	0.85	1.1	1.3	1.6	2	2.4
	r_{min}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
	l 范围	2～16	3～20	3～25	4～30	5～40	6～50	8～60	10～80	12～80
	全螺纹长度	30	30	30	30	40	40	40	40	40
GB/T 67—2008	d_{kmax}	3.2	4	5	5.6	8	9.5	12	16	20
	k_{max}	1	1.3	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.8	6
	t_{min}	0.35	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.4	1.9	2.4
	r_{min}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
	l 范围	2～16	2.5～20	3～25	4～30	5～40	6～50	8～60	10～80	12～80
	全螺纹长度	30	30	30	30	40	40	40	40	40
GB/T 68—2000	d_{kmax}	3	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
	k_{max}	1	1.2	1.5	1.65	2.7	2.7	3.3	4.65	5
	t_{min}	0.32	0.4	0.5	0.6	1	1.1	1.2	1.8	2
	r_{max}	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5
	l 范围	2.5～16	3～20	4～25	5～30	6～40	8～50	8～60	10～80	12～80
	全螺纹长度	30	30	30	30	45	45	45	45	45
a_{max}		0.7	0.8	0.9	1	1.4	1.6	2	2.5	3
b_{min}		25	25	25	25	38	38	38	38	38
n 公称		0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
x_{max}		0.9	1	1.1	1.25	1.75	2	2.5	3.2	3.8
l 系列		2，3，4，5，6，8，10，12，（14），16，20，25，30，35，40，45，50，（55），60，（65），70，（75），80								

注：无螺纹部分杆径约等于螺纹中径或允许等于螺纹大径。

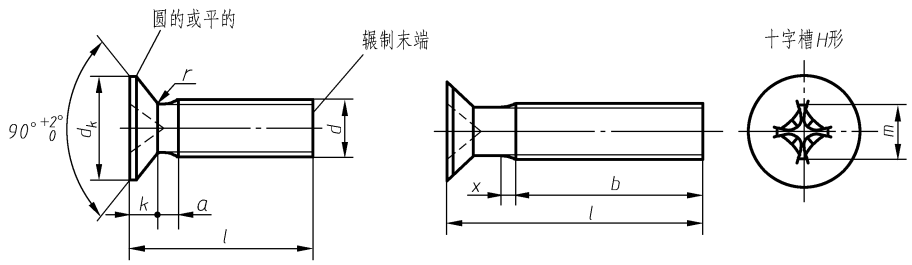
附录9　十字槽螺钉

（单位：mm）

十字槽盘头螺钉(GB/T 818—2000)



十字槽沉头螺钉(GB/T 819.1—2000)



标记示例：

螺纹规格 d = M5、公称长度 l = 20mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的 A 级 H 型十字槽盘头螺钉：

螺钉 GB/T 818　M5 × 20

螺纹规格 d = M5、公称长度 l = 20mm、性能等级为 4.8 级，不经表面处理的 A 级 H 型十字槽沉头螺钉：

螺钉 GB/T 819.1　M5 × 20

螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
螺距 P		0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5
a	max	0.7	0.8	0.9	1	1.4	1.6	2	2.5	3
b	min	25	25	25	25	38	38	38	38	38
x	max	0.9	1	1.1	1.25	1.75	2	2.5	3.2	3.8
十字槽 No.		0	0	1	1	2	2	3	4	4
l 系列		3,4,5,6,8,10,12,(14),16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60								
GB/T 818—2000	d_k	3.2	4	5	5.6	8	9.5	12	16	20
	k	1.3	1.6	2.1	2.4	3.1	3.7	4.6	6	7.5
	r	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
	r_f	2.5	3.2	4	5	6.5	8	10	13	16
	m	1.7	1.9	2.7	3	4.4	4.9	6.9	9	10.1
	l 范围	3 ~ 16	3 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 40	6 ~ 45	8 ~ 60	10 ~ 60	12 ~ 60
	全螺纹长度	25	25	25	25	40	40	40	40	40
GB/T 819.1—2000	d_k	3.0	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
	k	1	1.2	1.5	1.65	2.7	2.7	3.3	4.65	5
	r	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5
	m	1.6	1.9	2.9	3.2	4.6	5.2	6.8	8.9	10
	l 范围	3 ~ 16	3 ~ 20	3 ~ 25	4 ~ 30	5 ~ 40	6 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 60	12 ~ 60
	全螺纹长度	30	30	30	30	45	45	45	45	45

注：1. 材料为钢，螺纹公差 6g，性能等级 4.8 级，产品等级 A 级。

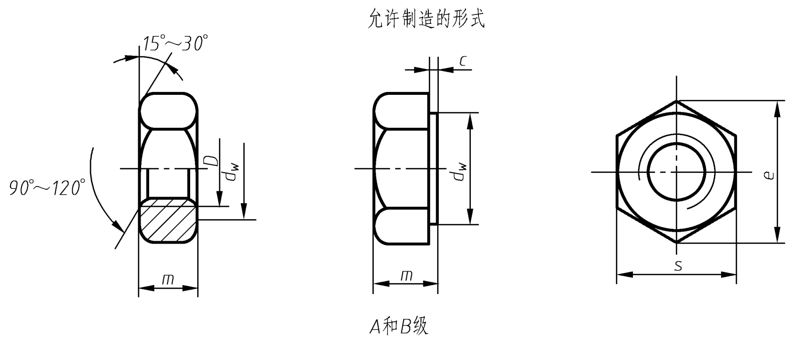
2. 无螺纹部分杆径约等于螺纹中径或允许等于螺纹大径。

3. 十字槽螺钉的槽型有 H 型和 Z 型两种，本附录仅摘录 H 型。对于 Z 形的形式和尺寸 m 可查标准。

附录 10　1 型六角螺母　（单位：mm）

1 型六角螺母—A 和 B 级(摘自 GB/T 6170—2000)

1 型六角头螺母—细牙—A 和 B 级(摘自 GB/T 6171—2000)



标 记 示 例

螺纹规格 M12、性能等级为 8 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的 1 型六角螺母的标记：

螺母 GB/T 6170　M12

螺纹规格 D	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48
螺距 P	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
c_{max}	0.4	0.5		0.6			0.8					1	
s_{max}	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75
e_{min}	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3	82.6
m_{max}	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	14.8	18	21.5	25.6	31	34	38
d_{wmin}	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5

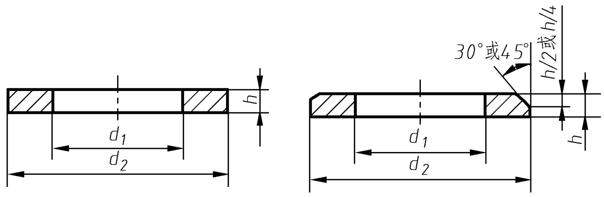
注：1. A 级用于 $D \leqslant 16$mm 的螺母；B 级用于 $D > 16$mm 的螺母。

2. 螺纹公差：A、B 级为 6H；力学性能等级：A、B 级为 6、8、10 级。

附录11　普通垫圈

（单位：mm）

平垫圈　A级(GB/T 97.1—2002)　　平垫圈　倒角型　A级(GB/T 97.2—2002)



标记示例：

标准系列、公称规格8mm、由钢制造的硬度等级为200HV级、不经表面处理、产品等级为A级的平垫圈的标记：

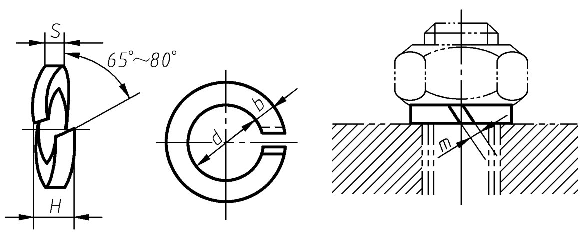
垫圈 GB/T 97.1　8

公称规格(螺纹大径 d)	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36
内径 d_1(公称 min)	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	25	31	37
外径 d_2(公称 max)	10	12	16	20	24	30	37	44	56	66
厚度 h(公称)	1	1.6	1.6	2	2.5	3	3	4	4	5

注：本附录仅摘录GB/T 97.1—2002和GB/T 97.2—2002中公称规格（螺纹大径）为5～36mm的优选尺寸。

附录12　标准型弹簧垫圈（GB/T 93—1987）

（单位：mm）



标记示例：

规格为16mm，材料为65Mn，

表面氧化的标准型弹簧垫圈：

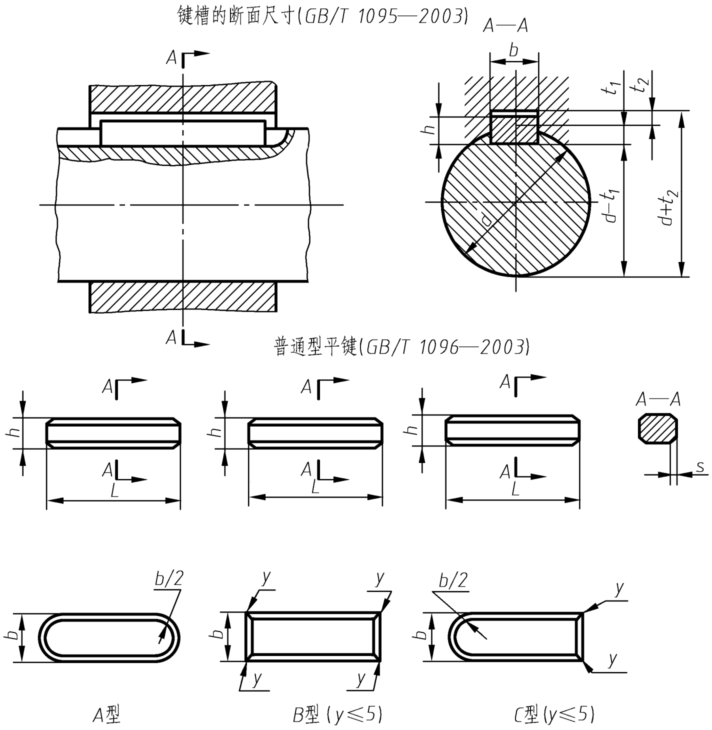
垫圈　GB/T 93—1987　16

规格(螺纹大径)	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
d_{min}	5.1	6.1	8.1	10.2	12.2	16.2	20.2	24.5	30.5	36.5	42.5	48.5
$S(b)$(公称)	1.3	1.6	2.1	2.6	3.1	4.1	5	6	7.5	9	10.5	12
H_{min}	2.6	3.2	4.2	5.2	6.2	8.2	10	12	15	18	21	24
$m \leqslant$	0.65	0.8	1.05	1.3	1.55	2.05	2.5	3	3.75	4.5	5.25	6

注：m应大于零。

附录 13　普通平键

（单位：mm）



标记示例：
圆头普通平键（A 型）b = 16mm、h = 10mm、L = 100mm：
GB/T 1096　键　16 × 10 × 100
平头普通平键（B 型）b = 16mm、h = 10mm、L = 100mm：
GB/T 1096　键　B16 × 10 × 100
单圆头普通平键（C 型）b = 16mm、h = 10mm、L = 100mm：
GB/T 1096　键　C16 × 10 × 100

轴	键			键槽								
				宽度 b 的极限偏差					深度			
				松连接		正常连接		紧密连接	轴 t_1		毂 t_2	
公称直径 d	公称尺寸 b×h	C 或 r	L 范围	轴 H9	毂 D10	轴 N9	毂 JS9	轴和毂 P9	公称尺寸	极限偏差	公称尺寸	极限偏差
>12 ~ 17	5 × 5	0.25 ~ 0.40	10 ~ 56	+0.030 0	+0.078 +0.030	0 −0.030	±0.015	−0.012 −0.042	3.0	+0.1 0	2.3	+0.1 0
>17 ~ 22	6 × 6	0.25 ~ 0.40	14 ~ 70						3.5		2.8	
>22 ~ 30	8 × 7	0.25 ~ 0.40	18 ~ 90	+0.036 0	+0.098 +0.040	0 −0.036	±0.018	−0.015 −0.051	4.0	+0.2 0	3.3	+0.2 0
>30 ~ 38	10 × 8	0.40 ~ 0.60	22 ~ 110						5.0		3.3	
>38 ~ 44	12 × 8	0.40 ~ 0.60	28 ~ 140	+0.043 0	+0.120 +0.050	0 −0.043	±0.0215	−0.018 −0.061	5.0		3.3	
>44 ~ 50	14 × 9	0.40 ~ 0.60	36 ~ 160						5.5		3.8	
>50 ~ 58	16 × 10	0.40 ~ 0.60	45 ~ 180						6.0		4.3	
>58 ~ 65	18 × 11	0.40 ~ 0.60	50 ~ 200						7.0		4.4	
>65 ~ 75	20 × 12	0.60 ~ 0.80	56 ~ 220	+0.052 0	+0.149 +0.065	0 −0.052	±0.026	−0.022 −0.074	7.5		4.9	
>75 ~ 85	22 × 14	0.60 ~ 0.80	63 ~ 250						9.0		5.4	
>85 ~ 95	25 × 14	0.60 ~ 0.80	70 ~ 280						9.0		5.4	
>95 ~ 110	28 × 16	0.60 ~ 0.80	80 ~ 320						10.0		6.4	
键的长度系列	10,12,14,16,18,20,22,25,28,32,36,40,45,50,56,63,70,80,90,100,110,125,140,160,180,200,220,250,280,320											

注：1. 轴的公称直径 d（对应可查选用键的尺寸 b × h）的数据并非标准规定，为作者所推荐，仅供参考。

2. 在工作图中，轴槽深用（$d - t_1$）标注，轮毂槽深用（$d + t_2$）标注。（$d - t_1$）和（$d + t_2$）两组组合尺寸的极限偏差按相应的 t_1 和 t_2 的极限偏差选取，但（$d - t_1$）极限偏差值应取负号“ − ”。

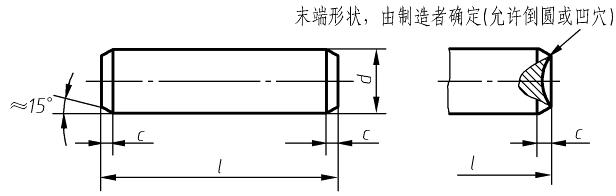
3. 平键长 L 公差为 h14，宽 b 公差为 h9，高 h 公差为 h11。

4. 平键轴槽的长度公差用 H14。

5. 轴槽、轮毂槽的键槽宽度 b 两侧面表面粗糙度参数 Ra 值推荐为 1.6 ~ 3.2μm，轴槽底面、轮毂槽底面的表面粗糙度参数 Ra 值为 6.3μm。

6. 轴槽及轮毂槽对轴及轮毂轴线的对称度公差一般可按 GB/T 1184—1996 中的 7 ~ 9 级选取。

附录14　圆柱销（不淬硬钢和奥氏体不锈钢）（摘自 GB/T 119.1—2000）　　（单位：mm）



标记示例：

公称直径 $d=6$mm、公差为 m6、公称长度 $l=30$mm、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的圆柱销的标记：

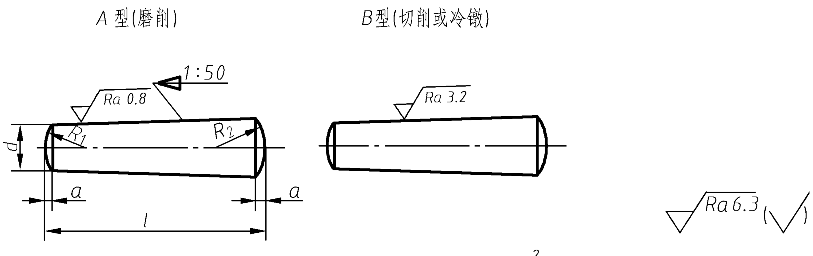
销　GB/T 119.1　6m6×30

公称直径 $d=10$mm、公差为 m6、公称长度 $l=30$mm、材料为 A1 组奥氏体不锈钢、表面简单处理的圆柱销的标记：

销　GB/T 119.1　10m6×30—A1

d(公称) m6/h8	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
$c\approx$	0.35	0.4	0.5	0.63	0.8	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4
$l_{范围}$	6～20	6～24	8～30	8～40	10～50	12～60	14～80	18～95	22～140	26～180	35～200	50～200
$l_{系列}$（公称）	2、3、4、5、6～32(2进位)、35～100(5进位)、120～≥200(20进位)											

附录15　圆锥销（摘自 GB/T 117—2000）　　（单位：mm）



$$R_1\approx d\quad R_2\approx\frac{a}{2}+d+\frac{(0.021)^2}{8a}$$

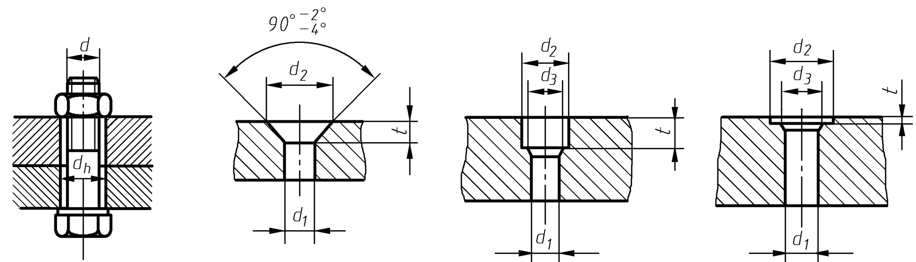
标记示例：

公称直径 $d=10$mm、长度 $l=60$mm、材料为35钢、热处理硬度28～38HRC、表面氧化处理的A型圆锥销的标记：

销　GB/T 117　10×60

$d_{公称}$	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
$a\approx$	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0
$l_{范围}$	10～35	10～35	12～45	14～55	18～60	22～90	22～120	26～160	32～180	40～200	45～200	50～200
$l_{系列}$	2、3、4、5、6～32(2进位)、35～100(5进位)、120～≥200(20进位)											

附录 16　紧固件通孔及沉孔尺寸　　　（单位：mm）



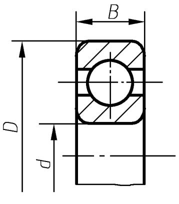
GB/T 5277—1985　　GB/T 152.2—1988　　GB/T 152.3—1988　　GB/T 152.4—1988

螺纹规格 d			M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
螺栓和螺钉通孔 d_h（GB/T 5277—1985）	精装配		4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	19	21	23	25	28	31
	中等装配		4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	15.5	17.5	20	22	24	26	30	33
	粗装配		4.8	5.8	7	10	12	14.5	16.5	18.5	21	24	26	28	32	35
沉头螺钉及半沉头螺钉用沉孔（GB/T 152.2—1988）	d_2		9.6	10.6	12.8	17.6	20.3	24.4	28.4	32.4	—	40.4	—	—	—	—
	$t\approx$		2.7	2.7	3.3	4.6	5	6	7	8	—	10	—	—	—	—
圆柱头螺钉用沉孔（GB/T 152.3—1988）	d_2		8	10	11	15	18	20	24	26	—	33	—	40	—	48
	d_3		—	—	—	—	—	16	18	20	—	24	—	28	—	36
	t	GB/T 70.1～70.3—2008	4.6	5.7	6.8	9	11	13	15	17.5	—	21.5	—	25.5	—	32
		GB/T 65—2000	3.2	4	4.7	6	7	8	9	10.5	—	12.5	—	—	—	—
六角头螺栓和六角螺母用沉孔（GB/T 152.4—1988）	d_2		10	11	13	18	22	26	30	33	36	40	43	48	53	61
	d_3		—	—	—	—	—	16	18	20	22	24	26	28	33	36
	t		只要能制出与通孔轴线垂直的圆平面即可（刮平）													

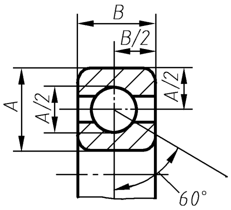
注：1. GB/T 152.2～152.4—1988 中，通孔直径 d_1 与中等装配时的螺栓和螺钉通孔 d_h 相同。

2. GB/T 152.3—1988 中的 t，分别用于内六角圆柱头螺钉（GB/T 70.1～70.3—2008）和开槽圆柱头螺钉（GB/T 65—2000）。

附录17　深沟球轴承（GB/T 276—1994）



外形尺寸



简化画法

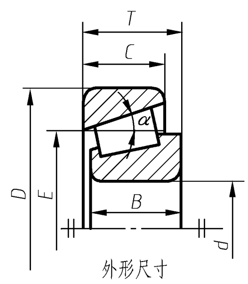
标记示例：
滚动轴承6012　GB/T 276—1994

轴承代号	外形尺寸 /mm			额定负荷 /kN		极限转速 /r·min^{-1}		轴承代号	外形尺寸 /mm			额定负荷 /kN		极限转速 /r·min^{-1}	
	d	D	B	C_r	C_{or}	脂润滑	油润滑		d	D	B	C_r	C_{or}	脂润滑	油润滑
6004	20	42	8	7.22	4.45	15000	19000	6304	20	52	15	12.2	7.78	13000	17000
6005	25	47	8	8.08	5.18	13000	17000	6305	25	62	17	17.2	11.2	10000	14000
6006	30	55	9	10.2	6.88	10000	14000	6306	30	72	19	20.8	14.2	9000	12000
6007	35	62	9	12.5	8.60	9000	12000	6307	35	80	21	25.8	17.8	8000	10000
6008	40	68	9	13.2	9.42	8500	11000	6308	40	90	23	31.2	22.2	7000	9000
6009	45	75	10	16.2	11.8	8000	10000	6309	45	100	25	40.8	29.8	6300	8000
6010	50	80	10	16.8	12.8	7000	9000	6310	50	110	27	47.5	35.6	6000	7500
6011	55	90	11	20.5	15.8	6300	8000	6311	55	120	29	55.2	41.8	5800	6700
6012	60	95	11	24.5	19.2	6000	7500	6312	60	130	31	62.8	48.5	5600	6300
6013	65	100	11	24.8	19.8	5600	7000	6313	65	140	33	72.2	56.5	4500	5600
6014	70	110	13	29.8	24.2	5300	6700	6314	70	150	35	80.2	63.2	4300	5300
6015	75	115	13	30.8	26.0	5000	6300	6315	75	160	37	87.2	71.5	4000	5000
6016	80	125	14	36.5	31.2	4800	6000	6316	80	170	39	94.5	80.0	3800	4800
6017	85	130	14	39.0	33.5	4500	5600	6317	85	180	41	102	89.2	3600	4500
6018	90	140	16	44.5	39.0	4300	5300	6318	90	190	43	112	100	3400	4300
6019	95	145	16	44.5	39.0	4000	5000	6319	95	200	45	122	112	3200	4000
6020	100	150	16	49.5	43.8	3800	4800	6320	100	215	47	136	133	2800	3600
6204	20	47	14	9.88	6.18	14000	18000	6404	20	72	19	23.8	16.8	9500	13000
6205	25	52	15	10.8	6.95	12000	16000	6405	25	80	21	29.5	21.2	8500	11000
6206	30	62	16	15.0	10.0	9500	13000	6406	30	90	23	36.5	26.8	8000	10000
6207	35	72	17	19.8	13.5	8500	11000	6407	35	100	25	43.8	32.5	6700	8500
6208	40	80	18	22.8	15.8	8000	10000	6408	40	110	27	50.2	37.8	6300	8000
6209	45	85	19	24.5	17.5	7000	9000	6409	45	120	29	59.5	45.5	5600	7000
6210	50	90	20	27.0	19.8	6700	8500	6410	50	130	31	71.0	55.2	5300	6700
6211	55	100	21	33.5	25.0	6000	7500	6411	55	140	33	77.5	62.5	4800	6000
6212	60	110	22	36.8	27.8	5600	7000	6412	60	150	35	83.8	70.0	4500	5600
6213	65	120	23	44.0	34.0	5000	6300	6413	65	160	37	90.8	78.0	4300	5300
6214	70	125	24	46.8	37.5	4800	6000	6414	70	180	42	108	99.2	3800	4800
6215	75	130	25	50.8	41.2	4500	5600	6415	75	190	45	118	115	3600	4500
6216	80	140	26	55.0	44.8	4300	5300	6416	80	200	48	125	125	3400	4300
6217	85	150	28	64.0	53.2	4000	5000	6417	85	210	52	135	138	3200	4000
6218	90	160	30	73.8	60.5	3800	4800	6418	90	225	54	148	188	2800	3600
6219	95	170	32	84.8	70.5	3600	4500	6419	95	240	55	172	195	2400	3200
6220	100	180	34	94.0	79.0	3400	4300	6420	100	250	58	198	235	2000	2800

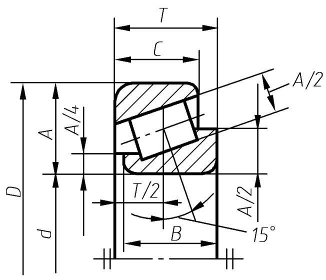
注：1. 表中6000型、6200型、6300型、6400型轴承的尺寸系列分别为：(1) 0、(0) 2、(0) 3和 (0) 4，且用括号“(　)”括住的数字表示在组合代号中省略。

2. 表中额定负荷 C_r 和 C_{or} 值摘自轴承产品样本，并非国家标准。

附录 18　圆锥滚子轴承（GB/T 297—1994）　　（单位：mm）



外形尺寸

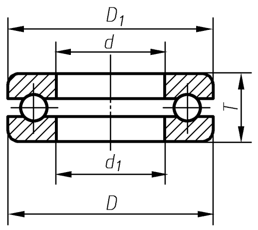


简化画法

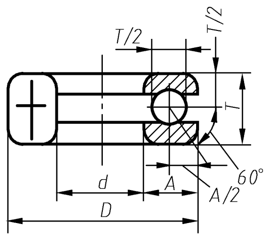
标记示例：
滚动轴承 30205　GB/T 297—1994

轴承代号	外形尺寸					轴承代号	外形尺寸				
	d	*D*	*T*	*B*	*C*		*d*	*D*	*T*	*B*	*C*
30204	20	47	15.25	14	12	32204	20	47	19.25	18	15
30205	25	52	16.25	15	13	32205	25	52	19.25	18	16
30206	30	62	17.25	16	14	32206	30	62	21.25	20	17
30207	35	72	18.25	17	15	32207	35	72	24.25	23	19
30208	40	80	19.75	18	16	32208	40	80	24.75	23	19
30209	45	85	20.75	19	16	32209	45	85	24.75	23	19
30210	50	90	21.75	20	17	32210	50	90	24.75	23	19
30211	55	100	22.75	21	18	32211	55	100	26.75	25	21
30212	60	110	23.75	22	19	32212	60	110	29.75	28	24
30213	65	120	24.75	23	20	32213	65	120	32.75	31	27
30214	70	125	26.25	24	21	32214	70	125	33.25	31	27
30215	75	130	27.25	25	22	32215	75	130	33.25	31	27
30216	80	140	28.25	26	22	32216	80	140	35.25	33	28
30217	85	150	30.5	28	24	32217	85	150	38.5	36	30
30218	90	160	32.5	30	26	32218	90	160	42.5	40	34
30219	95	170	34.5	32	27	32219	95	170	45.5	43	37
30220	100	180	37	34	29	32220	100	180	49	46	39
30304	20	52	16.25	15	13	32304	20	52	22.25	21	18
30305	25	62	18.25	17	15	32305	25	62	25.25	24	20
30306	30	72	20.75	19	16	32306	30	72	28.75	27	23
30307	35	80	22.75	21	18	32307	35	80	32.75	31	25
30308	40	90	25.25	23	20	32308	40	90	35.25	33	27
30309	45	100	27.25	25	22	32309	45	100	38.25	36	30
30310	50	110	29.25	27	23	32310	50	110	42.25	40	33
30311	55	120	31.5	29	25	32311	55	120	45.5	43	35
30312	60	130	33.5	31	26	32312	60	130	48.5	46	37
30313	65	140	36	33	28	32313	65	140	51	48	39
30314	70	150	38	35	30	32314	70	150	54	51	42
30315	75	160	40	37	31	32315	75	160	58	55	45
30316	80	170	42.5	39	33	32316	80	170	61.5	58	48
30317	85	180	44.5	41	34	32317	85	180	63.5	60	49
30318	90	190	46.5	43	36	32318	90	190	67.5	64	53
30319	95	200	49.5	45	38	32319	95	200	71.5	67	55
30320	100	215	51.5	47	39	32320	100	215	77.5	73	60

附录19　单向推力球轴承（GB/T 28697—2012）　　（单位：mm）



外形尺寸

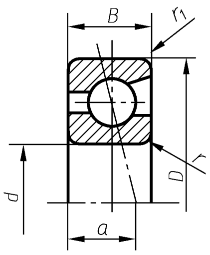


简化画法

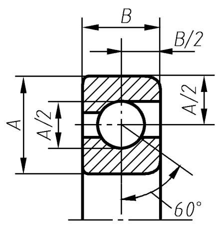
标记示例：
滚动轴承 51210 GB/T 301—1995

轴承代号	外形尺寸					轴承代号	外形尺寸				
	d	D	T	d_1	D_1		d	D	T	d_1	D_1
51104	20	35	10	21	35	51304	20	47	18	22	47
51105	25	42	11	26	42	51305	25	52	18	27	52
51106	30	47	11	32	47	51306	30	60	21	32	60
51107	35	52	12	37	52	51307	35	68	24	37	68
51108	40	60	13	42	60	51308	40	78	26	42	78
51109	45	65	14	47	65	51309	45	85	28	47	85
51110	50	70	14	52	70	51310	50	95	31	52	95
51111	55	78	16	57	78	51311	55	105	35	57	105
51112	60	85	17	62	85	51312	60	110	35	62	110
51113	65	90	18	67	90	51313	65	115	36	67	115
51114	70	95	18	72	95	51314	70	125	40	72	125
51115	75	100	19	77	100	51315	75	135	44	77	135
51116	80	105	19	82	105	51316	80	140	44	82	140
51117	85	110	19	87	110	51317	85	150	49	88	150
51118	90	120	22	92	120	51318	90	155	50	93	155
51120	100	135	25	102	135	51320	100	170	55	103	170
51204	20	40	14	22	40	51405	25	60	24	27	60
51205	25	47	15	27	47	51406	30	70	28	2	70
51206	30	52	16	32	52	51407	35	80	32	37	80
51207	35	62	18	37	62	51408	40	90	36	42	90
51208	40	68	19	42	68	51409	45	100	39	47	100
51209	45	73	20	47	73	51410	50	110	43	52	110
51210	50	78	22	52	78	51411	55	120	48	57	120
51211	55	90	25	57	90	51412	60	130	51	62	130
51212	60	95	26	62	95	51413	65	140	56	68	140
51213	65	100	27	67	100	51414	70	150	60	73	150
51214	70	105	27	72	105	51415	75	160	65	78	160
51215	75	110	27	77	110	51416	80	170	68	83	170
51216	80	115	28	82	115	51417	85	180	72	88	177
51217	85	125	31	88	125	51418	90	190	77	93	187
51218	90	135	35	93	135	51420	100	210	85	103	205
51220	100	150	38	103	150	51422	110	230	95	113	225

附录 20　角接触球轴承（GB/T 292—2007）　　（单位：mm）



标准外形



简化画法

标记示例：
滚动轴承 7205C　GB/T 292—2007

轴承代号	外形尺寸			轴承代号	外形尺寸		
	d	*D*	*B*		*d*	*D*	*B*
7004	20	42	12	7214	70	125	24
7005	25	47	12	7215	75	130	25
7006	30	55	13	7216	80	140	26
7007	35	62	14	7217	85	150	28
7008	40	68	15	7218	90	160	30
7009	45	75	16	7219	95	170	32
7010	50	80	16	7220	100	180	34
7011	55	90	18	7221	105	190	36
7012	60	95	18	7222	110	200	38
7013	65	100	18	7224	120	215	40
7014	70	110	20	7304	20	52	15
7015	75	115	20	7305	25	62	17
7016	80	125	22	7306	30	72	19
7017	85	130	22	7307	35	80	21
7018	90	140	24	7308	40	90	23
7019	95	145	24	7309	45	100	25
7020	100	150	24	7310	50	110	27
7021	105	160	26	7311	55	120	29
7022	110	170	28	7312	60	130	31
7024	120	180	28	7313	65	140	33
7204	20	47	14	7314	70	150	35
7205	25	52	15	7315	75	160	37
7206	30	62	16	7316	80	170	39
7207	35	72	17	7317	85	180	41
7208	40	80	18	7318	90	190	43
7209	45	85	19	7319	95	200	45
7210	50	90	20	7320	100	215	47
7211	55	100	21	7321	105	225	49
7212	60	110	22	7322	110	240	50
7213	65	120	23	7324	120	260	55

注：1. 相同型号的角接触球轴承，因接触角 α 不同，可分为 7000C（$\alpha=15°$）、7000AC（$\alpha=25°$）和 7000B（$\alpha=40°$）三种，而它们的外形尺寸则相同。

2. 表中 7000、7200 和 7300 型轴承的尺寸系列分别为（1）0、（0）2 和（0）3，其中括号中表示宽度系列的数字在组合代号中省略。

附录21　标准公差数值（摘自GB/T 1800.1—2009）

公称尺寸/mm		标准公差等级													
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
大于	至	μm													
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630

附录22　轴的基本偏差数值（摘自GB/T 1800.1—2009）　　（单位：μm）

公称尺寸/mm		基本偏差数值（上极限偏差es）						基本偏差数值（下极限偏差ei）					
大于	至	所有标准公差等级						IT4～IT7	≤IT3 >IT7	所有标准公差等级			
		c	d	f	g	h	js	k		n	p	s	u
—	3	-60	-20	-6	-2	0	偏差 $=\pm\frac{IT_n}{2}$ 式中 IT_n 是IT的值数	0	0	+4	+6	+14	+18
3	6	-70	-30	-10	-4	0		+1	0	+8	+12	+19	+23
6	10	-80	-40	-13	-5	0		+1	0	+10	+15	+23	+28
10	18	-95	-50	-16	-6	0		+1	0	+12	+18	+28	+33
18	24	-110	-65	-20	-7	0		+2	0	+15	+22	+35	+41
24	30												+48
30	40	-120	-80	-25	-9	0		+2	0	+17	+26	+43	+60
40	50	-130											+70
50	65	-140	-100	-30	-10	0		+2	0	+20	+32	+53	+87
65	80	-150										+59	+102
80	100	-170	-120	-36	-12	0		+3	0	+23	+37	+71	+124
100	120	-180										+79	+144
120	140	-200	-145	-43	-14	0		+3	0	+27	+43	+92	+170
140	160	-210										+100	+190
160	180	-230										+108	+210
180	200	-240	-170	-50	-15	0		+4	0	+31	+50	+122	+236
200	225	-260										+130	+258
225	250	-280										+140	+284
250	280	-300	-190	-56	-17	0		+4	0	+34	+56	+158	+315
280	315	-330										+170	+350
315	355	-360	-210	-62	-18	0		+4	0	+37	+62	+190	+390
355	400	-400										+208	+435
400	450	-440	-230	-68	-20	0		+5	0	+40	+68	+232	+490
450	500	-480										+252	+540

附录 23　轴的极限偏差（GB/T 1800. 2—2009）

公称尺寸/mm		公差带/μm												
		a	b		c			d				e		
大于	至	11	11	12	9	10	11 *	8	9 *	10	11	7	8	9
—	3	−270 −330	−140 −200	−140 −240	−60 −85	−60 −100	−60 −120	−20 −34	−20 −45	−20 −60	−20 −80	−14 −24	−14 −28	−14 −39
3	6	−270 −345	−140 −215	−140 −260	−70 −100	−70 −118	−70 −145	−30 −48	−30 −60	−30 −78	−30 −105	−20 −32	−20 −38	−20 −50
6	10	−280 −370	−150 −240	−150 −300	−80 −116	−80 −138	−80 −170	−40 −62	−40 −76	−40 −98	−40 −130	−25 −40	−25 −47	−25 −61
10	14	−290 −400	−150 −260	−150 −330	−95 −138	−95 −165	−95 −205	−50 −77	−50 −93	−50 −120	−50 −160	−32 −50	−32 −59	−32 −75
14	18													
18	24	−300 −430	−160 −290	−160 −370	−110 −162	−110 −194	−110 −240	−65 −98	−65 −117	−65 −149	−65 −195	−40 −61	−40 −73	−40 −92
24	30													
30	40	−310 −470	−170 −330	−170 −420	−120 −182	−120 −220	−120 −280	−80 −119	−80 −142	−80 −180	−80 −240	−50 −75	−50 −89	−50 −112
40	50	−320 −480	−180 −340	−180 −430	−130 −192	−130 −230	−130 −290							
50	65	−340 −530	−190 −380	−190 −490	−140 −214	−140 −260	−140 −330	−100 −146	−100 −174	−100 −220	−100 −290	−60 −90	−60 −106	−60 −134
65	80	−360 −550	−200 −390	−200 −500	−150 −224	−150 −270	−150 −340							
80	100	−380 −600	−220 −440	−220 −570	−170 −257	−170 −310	−170 −390	−120 −174	−120 −207	−120 −260	−120 −340	−72 −107	−72 −126	−72 −212
100	120	−410 −630	−240 −460	−240 −590	−180 −267	−180 −320	−180 −400							
120	140	−460 −710	−260 −510	−260 −660	−200 −300	−200 −360	−200 −450	−145 −208	−145 −245	−145 −305	−145 −395	−85 −125	−85 −148	−85 −185
140	160	−520 −770	−280 −530	−280 −680	−210 −310	−210 −370	−210 −460							
160	180	−580 −830	−310 −560	−310 −710	−230 −330	−230 −390	−230 −480							
180	200	−660 −950	−340 −630	−340 −800	−240 −355	−240 −425	−240 −530	−170 −242	−170 −285	−170 −355	−170 −460	−100 −146	−100 −172	−100 −215
200	225	−740 −1030	−380 −670	−380 −840	−260 −375	−260 −445	−260 −550							
225	250	−820 −1110	−420 −710	−420 −880	−280 −395	−280 −465	−280 −570							
250	280	−920 −1240	−480 −800	−480 −1000	−300 −430	−300 −510	−300 −620	−190 −271	−190 −320	−190 −400	−190 −510	−110 −162	−110 −191	−110 −240
280	315	−1050 −1370	−540 −860	−540 −1060	−330 −460	−330 −540	−330 −650							
315	355	−1200 −1560	−600 −960	−600 −1170	−360 −500	−360 −590	−360 −720	−210 −299	−210 −350	−210 −440	−210 −570	−125 −182	−125 −214	−125 −265
355	400	−1350 −1710	−680 −1040	−680 −1250	−400 −540	−400 −630	−400 −760							
400	450	−1500 −1900	−760 −1160	−760 −1390	−440 −595	−440 −690	−440 −840	−230 −327	−230 −385	−230 −480	−230 −630	−135 −198	−135 −232	−135 −290
450	500	−1650 −2050	−840 −1240	−840 −1470	−480 −635	−480 −730	−480 −880							

（续）

公称尺寸/mm		公差带/μm																	
		f					g			h							
大于	至	5	6	7*	8	9	5	6*	7	5	6*	7*	8	9*	10	11*	12
—	3	−6 −10	−6 −12	−6 −16	−6 −20	−6 −31	−2 −6	−2 −8	−2 −12	0 −4	0 −6	0 −10	0 −14	0 −25	0 −40	0 −60	0 −100
3	6	−10 −15	−10 −18	−10 −22	−10 −28	−10 −40	−4 −9	−4 −12	−4 −16	0 −5	0 −8	0 −12	0 −18	0 −30	0 −48	0 −75	0 −120
6	10	−13 −19	−13 −22	−13 −28	−13 −35	−13 −49	−5 −11	−5 −14	−5 −20	0 −6	0 −9	0 −15	0 −22	0 −36	0 −58	0 −90	0 −150
10	14	−16	−16	−16	−16	−16	−6	−6	−6	0	0	0	0	0	0	0	0
14	18	−24	−27	−34	−43	−59	−14	−17	−24	−8	−11	−18	−27	−43	−70	−110	−180
18	24	−20	−20	−20	−20	−20	−7	−7	−7	0	0	0	0	0	0	0	0
24	30	−29	−33	−41	−53	−72	−16	−20	−28	−9	−13	−21	−33	−52	−84	−130	−210
30	40	−25	−25	−25	−25	−25	−9	−9	−9	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	−36	−41	−50	−64	−87	−20	−25	−34	−11	−16	−25	−39	−62	−100	−160	−250
50	65	−30	−30	−30	−30	−30	−10	−10	−10	0	0	0	0	0	0	0	0
65	80	−43	−49	−60	−76	−104	−23	−29	−40	−13	−19	−30	−46	−74	−120	−190	−300
80	100	−36	−36	−36	−36	−36	−12	−12	−12	0	0	0	0	0	0	0	0
100	120	−51	−58	−71	−90	−123	−27	−34	−47	−15	−22	−35	−54	−87	−140	−220	−350
120	140	−43	−43	−43	−43	−43	−14	−14	−14	0	0	0	0	0	0	0	0
140	160																
160	180	−61	−68	−83	−106	−143	−32	−39	−54	−18	−25	−40	−63	−100	−160	−250	−400
180	200	−50	−50	−50	−50	−50	−15	−15	−15	0	0	0	0	0	0	0	0
200	225																
225	250	−70	−79	−96	−122	−165	−35	−44	−61	−20	−29	−46	−72	−115	−185	−290	−460
250	280	−56	−56	−56	−56	−56	−17	−17	−17	0	0	0	0	0	0	0	0
280	315	−79	−88	−108	−137	−185	−40	−49	−69	−23	−32	−52	−81	−130	−210	−320	−520
315	355	−62	−62	−62	−62	−62	−18	−18	−18	0	0	0	0	0	0	0	0
355	400	−87	−98	−119	−151	−202	−43	−54	−75	−25	−36	−57	−89	−140	−230	−360	−570
400	450	−68	−68	−68	−68	−68	−20	−20	−20	0	0	0	0	0	0	0	0
450	500	−95	−108	−131	−165	−223	−47	−60	−83	−27	−40	−63	−97	−155	−250	−400	−630

（续）

公称尺寸/mm		公差带/µm														
		js			k			m			n			p		
大于	至	5	6	7	5	6*	7	5	6	7	5	6*	7	5	6*	7
—	3	±2	±3	±5	+4 0	+6 0	+10 0	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+10 +6	+12 +6	+16 +6
3	6	±2.5	±4	±6	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+17 +12	+20 +12	+24 +12
6	10	±3	±4.5	±7	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+21 +15	+24 +15	+30 +15
10	14	±4	±5.5	±9	+9	+12	+19	+15	+18	+25	+20	+23	+30	+26	+29	+36
14	18				+1	+1	+1	+7	+7	+7	+12	+12	+12	+18	+18	+18
18	24	±4.5	±6.5	±10	+11	+15	+23	+17	+21	+29	+24	+28	+36	+31	+35	+43
24	30				+2	+2	+2	+8	+8	+8	+15	+15	+15	+22	+22	+22
30	40	±5.5	±8	±12	+13	+18	+27	+20	+25	+34	+28	+33	+42	+37	+42	+51
40	50				+2	+2	+2	+9	+9	+9	+17	+17	+17	+26	+26	+26
50	65	±6.5	±9.5	±15	+15	+21	+32	+24	+30	+41	+33	+39	+50	+45	+51	+62
65	80				+2	+2	+2	+11	+11	+11	+20	+20	+20	+32	+32	+32
80	100	±7.5	±11	±17	+18	+25	+38	+28	+35	+48	+38	+45	+58	+52	+59	+72
100	120				+3	+3	+3	+13	+13	+13	+23	+23	+23	+37	+37	+37
120	140				+21	+28	+43	+33	+40	+55	+45	+52	+67	+61	+68	+83
140	160	±9	±12.5	±20												
160	180				+3	+3	+3	+15	+15	+15	+27	+27	+27	+43	+43	+43
180	200				+24	+33	+50	+37	+46	+63	+51	+60	+77	+70	+79	+96
200	225	±10	±14.5	±23												
225	250				+4	+4	+4	+17	+17	+17	+31	+31	+31	+50	+50	+50
250	280	±11.5	±16	±26	+27	+36	+56	+43	+52	+72	+57	+66	+86	+79	+88	+108
280	315				+4	+4	+4	+20	+20	+20	+34	+34	+34	+56	+56	+56
315	355	±12.5	±18	±28	+29	+40	+61	+46	+57	+78	+62	+73	+94	+87	+98	+119
355	400				+4	+4	+4	+21	+21	+21	+37	+37	+37	+62	+62	+62
400	450	±13.5	±20	±31	+32	+45	+68	+50	+63	+86	+67	+80	+103	+95	+108	+131
450	500				+5	+5	+5	+23	+23	+23	+40	+40	+40	+68	+68	+68

（续）

公称尺寸/mm		公差带/μm														
		r			s			t			u		v	x	y	z
大于	至	5	6	7	5	6*	7	5	6	7	6*	7	6	6	6	6
—	3	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+18 +14	+20 +14	+24 +14	—	—	—	+24 +18	+28 +18	—	+26 +20	—	+32 +26
3	6	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+24 +19	+27 +19	+31 +19	—	—	—	+31 +23	+35 +23	—	+36 +28	—	+43 +35
6	10	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+29 +23	+32 +23	+38 +23	—	—	—	+37 +28	+43 +28	—	+43 +34	—	+51 +42
10	14	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+36 +28	+39 +28	+46 +28	—	—	—	+44 +33	+51 +33	—	+51 +40	—	+61 +50
14	18							—	—	—			+50 +39	+56 +45	—	+71 +60
18	24	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+44 +35	+48 +35	+56 +35	—	—	—	+54 +41	+62 +41	+60 +47	+67 +54	+76 +63	+86 +73
24	30							+50 +41	+54 +41	+62 +41	+61 +48	+69 +48	+68 +55	+77 +64	+88 +75	+101 +88
30	40	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+76 +60	+85 +60	+84 +68	+96 +80	+110 +94	+128 +112
40	50							+65 +54	+70 +54	+79 +54	+86 +70	+95 +70	+97 +81	+113 +97	+130 +114	+152 +136
50	65	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+106 +87	+117 +87	+121 +102	+141 +122	+163 +144	+191 +172
65	80	+56 +43	+62 +43	+72 +43	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +102	+132 +102	+139 +120	+165 +146	+193 +174	+229 +210
80	100	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+146 +124	+159 +124	+168 +146	+200 +178	+236 +214	+280 +258
100	120	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+166 +144	+179 +144	+194 +172	+232 +210	+276 +254	+332 +310
120	140	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+195 +170	+210 +170	+227 +202	+273 +248	+325 +300	+390 +365
140	160	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+215 +190	+230 +190	+253 +228	+305 +280	+365 +340	+440 +415
160	180	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+235 +210	+250 +210	+277 +252	+335 +310	+405 +380	+490 +465
180	200	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+265 +236	+282 +236	+313 +284	+379 +350	+454 +425	+549 +520
200	225	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+287 +258	+304 +258	+339 +310	+414 +385	+499 +470	+604 +575
225	250	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+313 +284	+330 +284	+369 +340	+454 +425	+549 +520	+669 +640
250	280	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+347 +315	+367 +315	+417 +385	+507 +475	+612 +580	+742 +710
280	315	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+382 +350	+402 +350	+457 +425	+557 +525	+682 +650	+822 +790
315	355	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+426 +390	+447 +390	+511 +475	+626 +590	+766 +730	+936 +900
355	400	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+471 +435	+492 +435	+566 +530	+696 +660	+856 +820	+1036 +1000
400	450	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+530 +490	+553 +490	+635 +595	+780 +740	+960 +920	+1140 +1100
450	500	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+279 +252	+292 +252	+315 +252	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+580 +540	+603 +540	+700 +660	+860 +820	+1040 +1000	+1290 +1250

注：1. * 为优先公差带，其余为常用公差带，本表未摘录一般用途公差带。

2. 公称尺寸小于1mm时，各级的a和b均不采用。

附录 24　优先用途孔的极限偏差（GB/T 1800.2—2009）

公称尺寸/mm		优先公差带/μm												
大于	至	C11	D9	F8	G7	H7	H8	H9	H11	K7	N7	P7	S7	U7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 −10	−4 −14	−6 −16	−14 −24	−18 −28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 −9	−4 −16	−8 −20	−15 −27	−19 −31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0	+5 −10	−4 −19	−9 −24	−17 −32	−22 −37
10	18	+205 +95	+93 +50	+43 +16	+24 +6	+18 0	+27 0	+43 0	+110 0	+6 −12	−5 −23	−11 −29	−21 −39	−26 −44
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	+130 0	+6 −15	−7 −28	−14 −35	−27 −48	−33 −54
24	30													−40 −61
30	40	+280 +120	+142 +80	+64 +25	+34 +9	+25 0	+39 0	+62 0	+160 0	+7 −18	−8 −33	−17 −42	−34 −59	−51 −76
40	50	+290 +130												−61 −86
50	65	+330 +140	+174 +100	+76 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	+9 −21	−9 −39	−21 −51	−42 −72	−76 −106
65	80	+340 +150											−48 −78	−91 −121
80	100	+390 +170	+207 +120	+90 +36	+47 +12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	+10 −25	−10 −45	−24 −59	−58 −93	−111 −146
100	120	+400 +180											−66 −101	−131 −166
120	140	+450 +200	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 −28	−12 −52	−28 −68	−77 −117	−155 −195
140	160	+460 +210											−85 −125	−175 −215
160	180	+480 +230											−93 −133	−195 −235
180	200	+530 +240	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+13 −33	−14 −60	−33 −79	−105 −151	−219 −265
200	225	+550 +260											−113 −159	−241 −287
225	250	+570 +280											−123 −169	−267 −313
250	280	+620 +300	+320 +190	+137 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	+16 −36	−14 −66	−36 −88	−138 −190	−295 −347
280	315	+650 +330											−150 −202	−330 −382
315	355	+720 +360	+350 +210	+151 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	+17 −40	−16 −73	−41 −98	−169 −226	−369 −426
355	400	+760 +400											−187 −244	−414 −471
400	450	+840 +440	+385 +230	+165 +68	+83 +20	+63 0	+97 0	+155 0	+400 0	+18 −45	−17 −80	−45 −108	−209 −272	−467 −530
450	500	+880 +480											−229 −292	−517 −580

附录 25　几何公差的公差值（摘自 GB/T 1184—1996）

公差项目	主参数 x/mm①	公差等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		公差值/μm											
直线度、平面度	≤10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
	>10～16	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
	>16～25	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
	>25～40	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
	>40～63	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
	>63～100	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
	>100～160	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
	>160～250	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
圆度②、圆柱度	≤3	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
	>3～6	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
	>6～10	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
	>10～18	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
	>18～30	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
	>30～50	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
	>50～80	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
	>80～120	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
	>120～180	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
	>180～250	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115
平行度、垂直度、倾斜度	≤10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
	>10～16	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
	>16～25	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
	>25～40	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
	>40～63	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
	>63～100	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
	>100～160	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
	>160～250	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
同轴度、对称度、圆跳动、全跳动	≤1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
	>1～3	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
	>3～6	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
	>6～10	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
	>10～18	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
	>18～30	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
	>30～50	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
	>50～120	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
	>120～250	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600

① 对于直线度、平面度，主参数 x 为 L；对于圆度、圆柱度，x 为 $d(D)$；对于平行度、垂直度、倾斜度，x 为 L、$d(D)$；对于同轴度、对称度、圆跳动和全跳动，x 为 $d(D)$、B、L。

② 圆度、圆柱度公差有 0、1、…、12 共 13 个等级，本表未列入较少采用的 0 级。

附录 26　铸铁的种类、牌号和应用

种　类	牌　号	应　用
灰铸铁 GB/T 9439—2010	HT100	机床中受轻负荷、磨损无关紧要的铸件,如托盘、盖、罩、手轮、把手、重锤等形状简单且性能要求不高的零件
	HT150	承受中等弯曲应力,摩擦面间压强高于 500kPa 的铸件,如多数机床的底座,有相对运动和磨损的零件,如滑板、工作台等,汽车中的变速箱、排气管、进气管等
	HT200	承受较大弯曲应力,要求保持气密性的铸件,如机床立柱、刀架、齿轮箱体、多数机床床身滑板、箱体、液压缸、泵体、阀体、制动毂、飞轮、气缸盖、带轮、轴承盖、叶轮等
	HT250	炼钢用轨道板、气缸套、齿轮、机床立柱、齿轮箱体、机床床身、磨床转体、液压缸泵体、阀体
	HT300	承受高弯曲应力、拉应力,要求保持高度气密性的铸件,如重型机床床身、多轴机床主轴箱、卡盘齿轮、高压液压缸、泵体、阀体
	HT350	轧钢滑板、辊子、炼焦柱塞、圆筒混合机齿圈、支承轮座、挡轮座
球墨铸铁 GB/T 1348—2009	QT400-18	韧性高,低温性能较好,具有一定的耐蚀性。用于制作汽车拖拉机中的驱动桥壳体、离合器壳体、差速器壳体、减速器壳体,16～64 个大气压阀门的阀体、阀盖等
	QT400-15	
	QT450-10	具有中等的强度和韧性,用于制作内燃机中液压泵齿轮、汽轮机的中温气缸隔板、水轮机阀门体、机车车辆轴瓦等
	QT500-7	
	QT600-3	具有较高的强度、较好的耐磨性及一定的韧性。用于制作部分机床的主轴,内燃机、空压机、冷冻机、制氧机和泵的曲轴、缸体、缸套等
	QT700-2	
	QT800-2	
	QT900-2	具有高强度和较高的弯曲疲劳强度,耐磨性好。用于制作内燃机中的凸轮轴,拖拉机的减速齿轮,汽车中的螺旋锥齿轮等
可锻铸铁 GB/T 9440—2010	KTH 300-06	黑心可锻铸铁比灰铸铁强度高,塑性和韧性更好,可承受冲击和扭转负荷,具有良好的耐蚀性,切削性能良好。可用来制作薄壁铸件,多用于机床零件、运输机械零件、升降机械零件、管道配件、低压阀门等
	KTH 350-10	
	KTZ 450-06	珠光体可锻铸铁的塑性、韧性比黑心可锻铸铁稍差,但其强度高,耐磨性好,低温性能优于球墨铸铁,加工性良好。可替代有色合金、低合金钢及低、中碳钢制作较高强度和耐磨性的零件
	KTZ 550-04	
	KTZ 650-02	
	KTZ 700-02	
	KTB 400-05	白心可锻铸铁由于工艺复杂,生产周期长,性能较差,国内在机械工业中较少应用,一般仅限于薄壁件的制造
	KTB 450-07	

附录 27　碳素结构钢的种类、牌号和应用

种　类	牌　号	应　用
铸造碳钢 GB/T 11352—2009	ZG 200-400	低碳铸钢,韧性及塑性均好,但强度和硬度较低,低温冲击韧性大,脆性转变温度低,磁导、电导性能良好,焊接性好,但铸造性差。主要用于制作受力不大,但要求韧性好的零件。ZG 200-400 用于制作机座、电磁吸盘、变速箱体等;ZG 230-450 用于制作轴承盖、底板、阀体、机座、侧架、轧钢机架、铁道车辆摇枕、箱体、犁柱、砧座等
	ZG 230-450	
	ZG 270-500	中碳铸钢,有一定的韧性及塑性,强度和硬度较高,切削性良好,焊接性尚可,铸造性能比低碳铸钢好。ZG 270-500 应用广泛,如飞轮、车辆车钩、水压机工作缸、机架、蒸汽锤气缸、轴承座、连杆、箱体、曲拐等;ZG 310-570 用于制作重负荷零件,如联轴器、大齿轮、缸体、气缸、机架、制动轮、轴及辊子等
	ZG 310-570	
	ZG 340-640	高碳铸钢,具有高强度,高硬度及高耐磨性,塑性、韧性低,铸造性,焊接性均差,裂纹敏感性较大。用于制作起重运输机齿轮、联轴器、齿轮、车轮、棘轮、叉头等

（续）

种　类	牌　号	应　用
碳素结构钢 GB/T 700—2006	Q195 Q215	有较高的伸长率,具有良好的焊接性能和韧性。常用于制造地脚螺栓、铆钉、犁板、烟筒、炉撑、钢丝网屋面板、低碳钢丝、薄板、焊管、拉杆、短轴、心轴、凸轮(轻载)、吊钩、垫圈、支架及焊接件等
	Q235	有一定的伸长率和强度,韧性及铸造性均良好,且易于冲压及焊接。广泛用于制造一般机械零件,如连杆、拉杆、销轴、螺钉、钩子、套圈盖、螺母、螺栓、气缸、齿轮、支架、机架横撑、机架、焊接件,以及建筑结构与桥梁等用的角钢、工字钢、槽钢、垫板、钢筋等
	Q275	有较高的强度,一定的焊接性,切削加工性及塑性均较好,可用于制造较高强度要求的零件,如齿轮心轴、转轴、销轴、链轮、键、螺母、螺栓、垫圈、制动杆、鱼尾板、农机用型钢、异型钢、机架、耙齿等
优质碳素结构钢 GB/T 699—1999	10	采用镦锻、弯曲、冲压、锻压、拉延及焊接等多种加工方法,制作各种韧性高、负荷小的零件,如卡头、钢管垫片、垫圈、摩擦片、汽车车身、防尘罩、容器、缓冲器皿、搪瓷制品,冷镦螺栓、螺母等
	15	用于受载不大、韧性要求较高的零件、渗碳件、冲模锻件、紧固件,不需热处理的低负载零件,焊接性能较好的中小结构件,如螺栓、螺钉、法兰盘、化工容器、蒸汽锅炉、小轴、挡铁、齿轮、滚子等
	20	制作负载不大,但韧性要求高的零件,如拉杆、杠杆、钩环、套筒、夹具及衬垫、驻车制动、蹄片、杠杆轴、变速叉、被动齿轮、气门挺杆、凸轮轴、悬挂平衡器、内外衬套等
	25	用于制作焊接构件以及经锻造、热冲压和切削加工,且负荷较小的零件,如辊子、轴、垫圈、螺栓、螺母、螺钉以及汽车、拖拉机中的横梁车架、大梁、脚踏板等
	35	用于制造负载较大,但截面尺寸较小的各种机械零件、热压件,如轴销、轴、曲轴、横梁、连杆、杠杆、星轮、轮圈、垫圈、圆盘、钩环、螺栓、螺钉、螺母等
	40	用于制造机器中的运动件,心部强度要求不高、表面耐磨性好的淬火零件,截面尺寸较小、负载较大的调质零件,及应力不大的大型正火件,如传动轴心轴、曲轴、曲柄销、辊子、拉杆、连杆、活塞杆、齿轮、圆盘、链轮等
	45	适用于制造较高强度的运动零件,如空压机、泵的活塞、汽轮机的叶轮,重型及通用机械中的轧制轴、连杆、蜗杆、齿条、齿轮、销子等
	50	主要用于制造动负荷、冲击载荷不大以及要求耐磨性好的机械零件,如锻造齿轮轴、摩擦盘、机床主轴、发动机、曲轴、轧辊、拉杆、弹簧垫圈、不重要的弹簧等
	55	主要用于制造耐磨、强度较高的机械零件以及弹性零件,如连杆、齿轮、机车轮箍、轮缘、轮圈、轧辊、扁弹簧等
	30Mn	一般用于制造低负荷的各种零件,如杠杆、拉杆、小轴、制动踏板、螺栓、螺钉和螺母以及农机中的钩环链的链环、刀片、横向制动机齿轮等
	50Mn	一般用于制造高耐磨性、高应力的零件,如直径小于 ϕ80mm 的心轴、齿轮轴、齿轮摩擦盘、板弹簧等,高频感应淬火后还可制造火车轴、蜗杆、连杆及汽车曲轴等
	65Mn	用于制造中等负载的板弹簧、螺旋弹簧、弹簧垫圈、弹簧卡环、弹簧发条、轻型汽车的离合器弹簧、制动弹簧、气门弹簧以及受摩擦、高弹性、高强度的机械零件,如收割机的铲、犁、切碎机切刀、翻土板、整地机械圆盘、机床主轴、机床丝杠、弹簧卡头、钢轫轨等

附录 28　合金结构钢的种类、牌号和应用

种　　类	牌　　号	应　　用
低合金高强度结构钢 GB/T 1591—2008	Q345	综合力学性能良好，低温冲击韧性、冷冲压和切削加工性、焊接性都好。广泛用于制作桥梁、船舶、管道、锅炉、大型容器、油罐、重型机械设备、矿山机器、电站、厂房结构等
	Q390	用于制作高、中压石油化工容器、锅炉锅筒、桥梁、船舶、起重机，较重负荷的焊接件，锅炉钢管以及载荷较大的连接构件
	Q420	强度高，塑性及韧性好，焊接性能和冷热加工性良好。适用于制作大型船舶、机车、车辆、中高压锅炉、容器、桥梁以及其他大型的焊接结构件
	Q460	强度特高（$R_m = 550 \sim 720MPa$）、并保持良好的塑性（$A = 17\%$），适用于大型高压锅炉和容器，铁路桥的大梁、巨型船舶以及重负荷的焊接结构件等
	Q500　Q550 Q620　Q690	这是新增加的强度最高的 4 个牌号。主要是在合金中加入了元素硼，从而显著提高了强度。故适用于要求强度高、重量轻的特别重要的工程结构件
合金结构钢 GB/T 3077—1999	20Mn2	用于制造渗碳的小齿轮、小轴、力学性能要求不高的十字头销、活塞销、柴油机套筒、气门顶杆、变速齿轮操纵杆、钢套等
	20Cr	用于制造小截面、形状简单、较高转速、载荷较小、表面耐磨、心部强度较高的各种渗碳或碳氮共渗零件，如小齿轮、小轴、阀、活塞销、托盘、凸轮、蜗杆等
	20CrNi	用于制造重载大型重要的渗碳零件，如花键轴、轴、键、齿轮、活塞销，也可用于制造高冲击韧性的调质零件
	20CrMnTi	用于制造汽车拖拉机中的截面尺寸小于 $30mm^2$ 的中载或重载、冲击、耐磨且高速的各种重要零件，如齿轮轴、齿圈、齿轮、十字轴、滑动轴承支撑的主轴、蜗杆等
	38CrMoAl	用于制造高疲劳强度、高耐磨性、较高强度的小尺寸氮化零件，如气缸套、座套、底盖、活塞螺栓、检验规、精密磨床主轴、车床主轴、搪杆、精密丝杠、齿轮、蜗杆等
	40Cr	制造中速、中载的调质零件，如机床齿轮、轴、蜗杆、花键轴、顶针套，制造表面高硬度耐磨的调质表面淬火零件，如主轴、曲轴、心轴、套筒、销子、连杆以及淬火回火后重载零件等
	40CrNi	用于制造锻造和冷冲压且截面尺寸较大的重要调质件，如连杆、圆盘、曲轴、齿轮、轴、螺钉等
	40MnB	用于制造拖拉机、汽车及其他通用机器设备中的中小重要调质零件，如汽车半轴、转向轴、花键轴、蜗杆和机床主轴、齿轮轴等
	50Cr	用于制造重载、耐磨的零件，如热轧辊传动轴、齿轮、止推环、支承辊的心轴、柴油机连杆、挺杆、拖拉机离合器、螺栓以及中等弹性的弹簧等
合金弹簧钢 GB/T 1222—2007	60Si2Mn	制造截面尺寸较大的弹簧，如车箱板簧、机车板簧、缓冲卷簧等
	50CrVA	主要用于制造截面大的、受载大的和工作温度较高的螺旋弹簧、阀门弹簧、小型汽车和载重车板簧、扭杆簧、低于 350℃的耐热弹簧等
不锈钢 GB/T 1220—2007	20Cr13	制作能抗弱腐蚀性介质、能承受冲击载荷的零件，如汽轮机叶片、水压机阀、结构架、螺栓、螺母等
	06Cr18Ni11Ti	用于耐酸容器及设备衬里、输送管道等设备和零件、抗磁仪表、医疗器械等
高碳铬轴承钢 GB/T 18254—2002	GCr15	制造中小型滚动轴承元件（壁厚小于 20mm 的套圈，直径小于 $\phi50mm$ 的钢球）及其他各种耐磨零件，如柴油机油泵，油嘴偶件等
	GCr15SiMn	制造大型、重载滚动轴承元件（壁厚大于 30mm 的套圈，直径为 $\phi50 \sim \phi100mm$ 的钢球）

附录29　铸造铜合金、铸造铝合金、铸造轴承合金的种类、牌号和应用

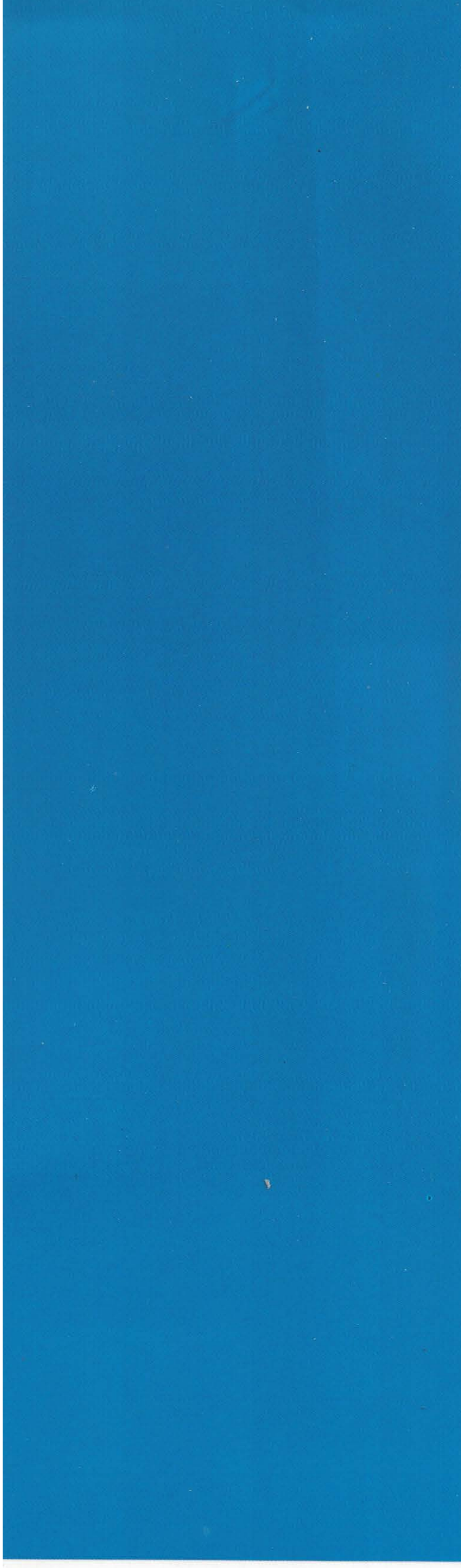
合金种类		牌号(代号)	应　用
铸造铜合金 GB/T 1176—1987	锡青铜	ZCuSn5Pb5Zn5	在较高负荷、中等滑动速度下工作的耐磨、耐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、活塞、离合器、泵件压盖以及蜗轮等
		ZCuSn10Pb1	用于高负荷(20MPa以下)和高滑动速度(8m/s)下工作的耐磨零件，如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等
	铅青铜	ZCuPb10Sn10	表面压力高，又存在侧压力的滑动轴承，如轧辊、车辆用轴承，内燃机双金属轴瓦以及活塞销套、摩擦片等
		ZCuPb20Sn5	高滑动速度的轴承及破碎机、水泵、冷轧机轴承
	铝青铜	ZCuAl9Mn2	耐蚀、耐磨零件，形状简单的大型铸件，如衬套、齿轮、蜗轮
		ZCuAl10Fe3	要求强度高、耐磨、耐蚀的重型铸件，如轴套、螺母、蜗轮以及在250℃以下工作的管配件
		ZCuZn38	一般结构件和耐蚀零件，如法兰、阀座、支架、手柄和螺母等
	黄铜	ZCuZn25Al6-Fe3Mn3	适用高强度、耐磨零件，如桥梁支承板、螺母、螺杆、耐磨板、滑块和蜗轮
铸造铝合金 GB/T 1173—1995	铝硅合金	ZAlSi7Mg (ZL101)	适于铸造承受中等负荷、形状复杂的零件，也可用于要求高气密性、耐蚀性和焊接性能良好、工作温度不超过200℃的零件，如水泵、仪表、传动装置壳体、气缸体、化油器等
		ZAlSi5Cu1Mg (ZL105)	用于铸造形状复杂、高静载荷的零件以及要求焊接性能良好、气密性高或工作温度在225℃以下的零件，如发动机的气缸体、气缸头、气缸盖和曲轴箱等
	铝铜合金	ZAlCu5Mn (ZL201)	用于铸造工作温度为175～300℃或室温下受高负荷、形状简单的零件，如支臂、挂架梁
		ZAlCu4 (ZL203)	用于铸造形状简单，承受中载、冲击负荷，工作温度不超过200℃，切削性能良好的小型零件，如曲轴箱、支架、飞轮盖等
	铝镁合金	ZAlMg10 (ZL301)	铸造工作温度不大于200℃的海轮配件、机器壳和航空配件等
	铝锌合金	ZAlZn11Si7 (ZL401)	铸造工作温度不大于200℃的汽车零件、医疗器械和仪器零件等
铸造轴承合金 GB/T 1174—1992	锡基	ZSnSb12-Pb10Cu4	工作温度不高的一般机器的主轴承衬
		ZSnSb8Cu4	大型机器轴承及轴衬，高速重负荷汽车发动机薄壁双金属轴承
	铅基	ZPbSb15Sn10	中等负荷的机器的轴承，还可作高温轴承之用
		ZPbSb10Sn6	耐磨、耐蚀、重负荷的轴承
	铜基	ZCuSn5Pb5Zn5	作为轴承材料，铜基和铝基轴承合金的性能不如锡基和铅基轴承合金，但相对价廉，故适用于制造各种使用场合下的整体滑动轴承
		ZCuPb10Sn10	
	铝基	ZAlSn6Cu1Ni1	

附录 30　各种非金属材料的种类、名称、牌号（或代号）和应用

种　　类	名称、牌号 或代号	性能及应用
工程塑料 GB/T 2035—2008	聚酰胺, 俗称尼龙 （PA）	具有良好的机械强度和耐磨性,广泛用作机械、化工及电气零件,如轴承、齿轮、凸轮、滚子、辊轴、泵叶轮、风扇叶轮、蜗轮、螺钉、螺母、垫圈、高压密封圈、阀座、输油管、储油容器等
	聚四氟乙烯 （PTFE）	在强酸、强碱、强氧化剂中不腐蚀,也不溶于任何溶剂,美称“塑料王”,有良好的高低温性能、电绝缘性,不吸水,摩擦因数低。用于制作机械中的耐蚀零件、密封垫圈、活塞环、轴承、化工设备管道、泵、阀门以及人造血管、心脏等
	聚甲醛 （POM）	具有良好的耐磨损性能和良好的干摩擦性能,用于制造轴承、齿轮、滚轮、辊子、阀门上的阀杆螺母、垫圈、法兰、垫片、泵叶轮、鼓风轮叶片、弹簧、管道等
	聚碳酸酯 （PC）	具有高的冲击韧性和优异的尺寸稳定性,用于制造齿轮、蜗轮、蜗杆、齿条、凸轮、心轴、轴承、滑轮、铰链、传动链、螺栓、螺母、垫圈、铆钉、泵叶轮、汽车化油器部件、节流阀、各种外壳等
	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）	用作一般结构或耐磨受力传动零件和耐腐蚀设备,用 ABS 制成的泡沫夹层板可做小轿车车身
	硬聚氯乙烯 （PVC）	制品有管、棒、板、焊条及管件,除作日常生活用品外,主要用作耐腐蚀的结构材料或设备衬里材料及电气绝缘材料
	聚甲基丙烯酸甲酯,俗称有机玻璃 （PMMA）	具有高的透明度和一定强度,耐紫外线及大气老化,易于成形加工。可用于要求有一定强度的透明结构材料,如各种油标的罩面板等
工业用 橡胶板 GB/T 5574—2008	A 类 （不耐油）	有一定的硬度和较好的耐磨性、弹性等物理力学性能,能在一定压力下,温度为 −30 ~ +60℃的空气中工作,制作密封垫圈、垫板和密封条等
	B 类（中等耐油）	有较高硬度和耐溶剂膨胀性能,可在温度为 −30 ~ +80℃的机油、变压器油、润滑油、汽油等介质中工作,适用于冲制各种形状的垫圈
	C 类（耐油）	
软钢纸板 QB/T 2200—1996	A 类	供飞机发动机制作密封连接处的垫片及其他部件用
	B 类	供汽车、拖拉机的发动机及其他内燃机制作密封垫片及其他部件用
工业用毛毡 FZ/T 25001—1992	T112（特品毡）、112（一般毡）等	常用作密封、防漏油、防振、缓冲衬垫,还可用作隔热保温、过滤和抛磨光材料等,按需要选用细毛、半粗毛、粗毛
油封毡圈 FZ/T 92010—1991	标记:毡圈 25 FZ/T 92010 （轴径 d_0 =25mm 用）	用于轴伸端处、轴与轴承盖之间的密封（密封处速度 v <5m/s 的脂润滑及转速不高的稀油润滑）
石棉橡胶板 GB/T 3985—2008	XB510、XB450 XB400、XB350 XB300、XB200 XB150	分别用于制作温度为 510℃、450℃、400℃、350℃、300℃、200℃、150℃以下（压力为 7MPa、6MPa、5MPa、4MPa、3MPa、1.5MPa、0.8MPa 以下）,以水和水蒸气等非油、非酸介质为主的设备中的密封材料,如管道法兰连接处的密封衬垫
耐油石棉橡胶板 GB/T 539—2008	NY510、NY400 NY300、NY250 NY150	一般工业用:分别用于温度为 510℃、400℃、300℃、250℃、150℃以下（压力为 5MPa、4MPa、3MPa、2.5MPa、1.5MPa 以下）,以油为介质的一般工业设备中的密封
	HNY300	航空工业用:用于温度为 300℃以下的航空燃油、石油基润滑油及冷气系统的密封垫片

参 考 文 献

［1］ 侯永康．画法几何与机械制图［M］．南京：江苏科学技术出版社，1985．
［2］ 骆继如．画法几何及工程制图［M］．南京：江苏人民出版社，1989．
［3］ 范思冲．机械基础［M］．南京：东南大学出版社，1989．
［4］ 何铭新，李名记．机械制图［M］．北京：高等教育出版社，1988．
［5］ 唐克中，朱同钧．画法几何及工程制图［M］．北京：高等教育出版社，1989．
［6］ 大连工学院工程画教研室．画法几何学［M］．北京：高等教育出版社，1985．
［7］ 林震龙．Auto CAD R12 使用手册［M］．北京：学苑出版社，1993．
［8］ 童秉枢．微型计算机绘图理论与实践［M］．北京：清华大学出版社，1995．
［9］ 邱玉春．Auto CAD（10 ~ 11）使用手册［M］．北京：电子工业出版社，1993．
［10］ 谢培钧．计算机绘图技术基础［M］．成都：电子科技大学出版社，1994．
［11］ 舒明玉，梁珣．绘图软件 Auto CAD［M］．北京：国防工业出版社，1995．
［12］ 季美琴．Auto CAD 微机绘图软件实用教程［M］．北京：人民邮电出版社，1996．
［13］ 张玉禧．画法几何与机械制图［M］．北京：北京科学技术文献出版社，1993．
［14］ 贺光谊．画法几何及机械制图［M］．重庆：重庆大学出版社，1994．
［15］ 尤绍权，周广仁．机械制图试题集［M］．杭州：浙江大学出版社，1991．
［16］ 王之煦．新标准机械图图集［M］．北京：机械工业出版社，1991．
［17］ 吴延本．机械设计标准手册［M］．长春：吉林科学技术出版社，1993．



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

材料成形原理（第2版）	吴树森　柳玉起
材料科学与工程基础	杨庆祥
画法几何及工程制图（机械类）（第2版）	王兰美　殷昌贵
画法几何及工程制图习题集（机械类）（第2版）	王兰美　殷昌贵
机床数控技术（第2版）	胡占齐　杨　莉
机械工程测试技术基础（第3版）	熊诗波　黄长艺
机械优化设计（第5版）	孙靖民　梁迎春
机械原理（第3版）	廖汉元　孔建益
机械原理课程设计（第2版）	师忠秀
机械原理与设计（上册）	马履中
机械原理与设计（下册）	马履中
机械制造工程学	李　伟　谭豫之
机械制造技术基础（第3版）	卢秉恒
机械制造装备设计（第3版）	关慧贞　冯辛安
机械制造自动化技术（第2版）	周骥平　林　岗
流体力学（第3版）	罗惕乾
熔焊方法及设备	王宗杰
特种加工（第5版）	刘晋春　白基成　郭永丰
先进制造系统	戴庆辉
现代机械工程综合实践教程	房海蓉　李建勇
液压与气压传动（第3版）	刘延俊
液压与气压传动（第3版）	许福玲　陈尧明
液压与气压传动（第4版）	左健民
食品加工机械与设备（第2版）	陈　斌

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

● ISBN 978-7-111-45820-3
● 策划：余皞 / 封面设计：张静

ISBN 978-7-111-45820-3
9 787111 458203 >
定价：39.00元